

Aus dem Hygiene-Institut der Universität in Marburg
Direktor: Professor Dr. med. R. Siegert

Quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen
mittels bekannten und neuentwickelten
Luftkeimsammelgeräten

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
in der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Volker vom Ende

aus Lübeck

Marburg 1967

Aus dem Hygiene-Institut der Universität in Marburg
Direktor: Professor Dr. med. R. Siebert

**Quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen
mittels bekannten und neuentwickelten
Luftkeimsammelgeräten**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
in der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Volker vom Ende

aus Lübeck

Marburg 1967



Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 8. August 1967
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. et med.dent.habil. H. Heuser

Referent: Doz. Dr. med. W. Schiff

Correferent: Prof. Dr. med. R. Siegert

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis
=====

	<u>Seite</u>
A. Einleitung	1
B. Zur Methodik	5
C. Untersuchungsergebnisse	11
I. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des Krotov-Gerätes	11
II. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des Slit-Sampler (Fort Detrick)	22
III. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Kapillar-Impingern	32
IV. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels eines Fritte-Impingers	36
V.+VI. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Membranfilter- und Sprühgeräten	36
VII. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels selbstentwickelter Vertikal-Zentrifuge	42
VIII. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels selbstentwickelter Horizontal-Zentrifuge	44
D. Besprechung	49
E. Zusammenfassung	53
F. Literatur	55



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A. Einleitung

=====

Die normale Keimflora der Luft besteht überwiegend aus apathogenen Keimen, insbesondere aus weißen Staphylokokken, Sarzinen, aeroben und anaeroben Sporenbildnern, Aktinomycceten und Pilzen. Im allgemeinen sind diese Mikroorganismen für den Einzelmenschen belanglos, wenn man von einigen unter besonderen Bedingungen in der Luft vorkommenden Infektionserregern absieht (sogenannte "airborne infection", vor allem in Krankenzimmern und Versuchsterräumen). Trotzdem besitzen auch die banalen Luftkeime wegen ihrer zersetzenden Wirkung auf organische Substanzen eine große wirtschaftsschädigende Bedeutung, vor allem in der Lebensmittelindustrie, im Gärungsgewerbe und in der pharmazeutischen Industrie. In diesen Fällen werden daher verschiedene Maßnahmen zur Sauberhaltung bzw. Entkeimung der Luft getroffen. Mit dieser Aufgabe eng verbunden ist die Frage nach dem Keimgehalt der Luft und der Entwicklung geeigneter Methoden zu seiner Bestimmung. Diese Forschungsrichtung ist zudem von großem theoretischen Interesse.

Nachdem bereits 1765 SPALLANZANI nachgewiesen hatte, daß eine Zersetzung von "steril" gekochten Lösungen nur bei Zutritt von Luft erfolgt, fand EHRENBURG 1843 bei der mikroskopischen Untersuchung von atmosphärischen Niederschlägen pflanzliche Partikel, die aus der Luft stammen mußten. Aber diese und viele ähnliche Befunde anderer Autoren stießen damals auf heftigen Widerstand oder gerieten in Vergessenheit. Erst als PASTEUR 1860 seine Thesen über die Ursache von Gärung und Fäulnis veröffentlichte, setzte sich allmählich die Auffassung durch, daß in der Luft Mikroben enthalten sind. Von ihm selbst sind auch erstmals quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen vorgenommen worden.

Bis heute sind zahlreiche Luftkeimbestimmungs-Methoden mit vielfältigen Modifikationen beschrieben worden (siehe u. a. die bebilderte Übersichtsarbeit von WOLF, SKALIY, HALL, HARRIS, DECKER, BUCHANAN und DAHLGREN, 1959). Im wesentlichen handelt es sich um folgende Verfahren bzw. Apparate:

1. Aspiration von Luft durch eine Flüssigkeit: Bei den meisten derartigen Geräten wird die Luft fein verteilt (z. B. durch eine Glaskapillare) in eine geeignete Waschflüssigkeit geleitet. Beim Durchperlen der feinen Gasbläschen werden die in ihnen enthaltenen Bakterien mehr oder weniger von der Flüssigkeit aufgenommen und anschließend durch Züchtungsverfahren (mittels Verdünnungsreihen in Nährbouillon, Agargußplatten oder Filtration durch Membranfilter) nachgewiesen. Geräte dieser Art gehörten zu den ersten, die für die Luftuntersuchungen angewandt wurden, wie z. B. die hintereinandergeschalteten Waschflaschen von COHN (1874), die MIQUEL'sche Kugelhöhre (1878) oder das sogenannte Aeroskop von RETTGER (1910). Um einen verstärkten Keimabfang zu erzielen, haben Mc CONNELL und THOMAS (1925) in die Waschflüssigkeit einen Filter aus japanischer Seide bzw. VERSIGORA (1956) zwei feine Glassiebe eingesetzt. Bei der von WINDISCH (1965a) benutzten Gaswaschflasche perlt die Luft lediglich durch eine Glasfritte. Gegenüber derartigen "bubbler"-Geräten, die mit niedrigen Luftdurchfluß-Geschwindigkeiten arbeiten, wird bei dem von GREENBERG und SMITH (1922) entwickelten Impinger (impinge = aufprallen) die Luft mittels einer Glaskapillare mit hoher Geschwindigkeit bzw. mit hohem Durchfluß (28 l/min.) in die Waschflüssigkeit geblasen, und zwar auf eine 5 mm vor der Kapillaröffnung angebrachte Glasplatte ("high velocity impinger"). Von ROSEBURY (1947) und DJAKONOW (zit. bei VLODAVEC, GAIDAMOWITSCH und OBUCHOWA, 1959) stammen Kapillar-Impinger, die mit ähnlich hoher Luftgeschwindigkeit aber (durch Verwendung enger Kapillaröffnungen) mit einem Luftdurchfluß von nur 2 - 3 l/min. betrieben werden. Bei diesen Geräten prallen die Luftbläschen auf den unmittelbar vor der Kapillaröffnung befindlichen Boden der Waschflasche. Beim Kapillar-Impinger nach BRONN (WINDISCH, 1965b) bläst die Luft in die Waschflüssigkeit durch eine schräg die Oberfläche berührende Kapillare, wodurch die Flüssigkeit und damit die Luftbläschen in kreisende Bewegung gesetzt wird, was möglicherweise eine gesteigerte Keimausbeute zur Folge hat. Des weiteren führte RECMJENSKIJ (1952) Keimgehaltsbestimmungen durch Zerstäuben der Auffangflüssigkeit mittels der zu prüfenden Luft durch. Ein derartiges Aerosol wird bei dem von MOULTON, PUCK und LEMON (1943) beschriebenen Atomiser-Sampler (atomise = zerstäuben) zusätzlich durch eine Waschflasche geleitet.

2. Luftfiltration: Auf dem Prinzip des Abfangens von Luftkeimen mittels nicht auflösbarer, bakteriendichter Filter beruhen bereits die ersten quantitativen Untersuchungen von PASTEUR (1860). Hierbei wurde die Luft durch eine Glasröhre geleitet, die mit Asbest oder Schießwolle gestopft waren. Diese Pfropfenfilter wurden anschließend in Nährflüssigkeit ausgewaschen und die Waschflüssigkeit zur Keimbestimmung verwendet. Andere Autoren benutzten als Filtermaterial Watte (GUYTON, BUCHANAN und LENSE, 1956), Baumwolle (ROBERTSON und DOYLE, 1940) oder Glaswolle (POLUNIN und KELLY, 1952). (POLUNIN und Mitarbeiter empfahlen letztere Filter insbesondere für Luftkeimgehaltsbestimmungen vom Flugzeug aus.) Bei den von REZNIK, 1937 (KRUSE 1948, ALBRECHT 1957, GROHAR und EISSA 1957) angewandten Kunststoffmembranfiltern erfolgte die Keimauswertung durch Auflegen dieser Filter auf feste Nährmedien mit anschließender Bebrütung und Kolonienauszählung. Schließlich bleiben noch die Filtersäulen aus Sand (PETRI 1888) oder Glaspulver (FICKER 1896) zu nennen, bei denen die Auswertung nach Kultivierung des im Agarmedium suspendierten Filtermaterials vorgenommen wurde. Andere Autoren verwandten zur Keimbestimmung auflösbare Filter z. B. aus Zucker (FRANKLAND 1887) oder Gemischen verschiedener Salze (OESTERLE 1934), getrocknetem Gelatineschaum (MITCHELL, TIMMON und DORRIS 1951, NOLLER und SPENDLOVE 1956), Natriumglutamat (VANINI 1958) und Natriumalginat (RICHARDS 1955). Die quantitative Auswertung der keimangereicherten Waschflüssigkeiten geschieht wie zuvor.

3. Sammeln auf festem Nährmedium: Bei den nachstehenden Verfahren wird die zu prüfende Luft (durch Absaugen, z. B. mittels Wasserstrahlpumpe, oder Aufblasen, z. B. mittels Ventilator oder Luftstromzuleitung von bewegten Fahrzeugen aus) auf feste Nähragarschichten geleitet, so daß die an ihnen haften bleibenden Bakterien nach Bebrütung leicht nachgewiesen werden können. Das erste Gerät dieser Art ist eine von WELLS (1933) konstruierte Luftzentrifuge, bei der die Luft auf eine an der Innenseite des Rotationszylinders befindliche Nähragarschicht geschleudert wird. (Mit einem ähnlichen Apparat sind von SAFIR (1945) auch virologische Luftuntersuchungen vorgenommen worden.) ANDERSON (1962) hatte ein Trommelgerät angegeben, bei welchem die Luft an die Außenseite einer langsam rotierenden und langsam nach oben

wandernden Agartrommel geblasen wird, wodurch die Bakterienkolonien auf einem spiralförmigen Weg angeordnet werden; dies gestattet einen Rückschluß auf die Veränderung des Keimgehaltes während der Sammelperiode. Bei dem von BOURDILLON, LIDWELL und THOMAS (1941), LIDWELL (1950) sowie DECKER und Mitarb. (1954, 1958) beschriebenen Schlitzsammlern prallt durch einen Schlitz eintretende Luft auf eine darunter (mehr oder weniger schnell) rotierende Nähragarplatte. In der Sowjetunion wird heute der ähnlich gebaute Schlitzsammler nach KROTOV (1957) serienmäßig hergestellt. Andere Apparate haben zur Luftzuführung einen Trichter (HOLLAENDER und DALLA VALLE 1939, DALLA VALLE und HOLLAENDER 1939) oder ein feinporiges Sieb (DU BUY und CRISP, 1944), wobei BERRY (1941) und LUKIESH, TAYLOR und HOLLADAY (1946) zusätzlich den Effekt der Elektropräzipitation ausgenutzt haben. Der Kaskadenimpaktor von ANDERSON und ANDERSON (1958) leitet den Luftstrom durch 6 übereinander angeordnete Sieb/Agarplatten-Systeme, was infolge der Verwendung von Sieben mit abgestufter Porengröße eine Separierung der Luftkeime nach ihrer Größe gestatten soll. Bei einem Gerät von MÜLLER und BUSCH (1964) wird der von einem Ventilator erzeugte Luftstrom durch einen Schacht auf eine Agaroberfläche geleitet.

Ergänzend sei bemerkt, daß sonstige Verfahren, die keine Messung des Luftvolumens gestatten, wie z. B. einfache Ablagerung, das Ausschleudern oder die Wärmepräzipitation von Luftbakterien, lediglich einer qualitativen Bestimmung des Luftkeimgehaltes dienen.

Die Leistungsfähigkeit dieser verschiedenartigen Geräte ist nur schwer zu beurteilen und miteinander vergleichbar. Dies hat hauptsächlich folgende Gründe: Die einzelnen Autoren arbeiteten unter unterschiedlichen Versuchsbedingungen, da der Keimgehalt der normalen Luft quantitativ und qualitativ stark schwankt. Daraus diesem Grunde bevorzugte Arbeiten mit künstlichen Bakterien-aerosolen hat andererseits den Nachteil, daß je nach der Phase (Staub- oder Tropfenphase) und der verwendeten Bakterienspezies mit den einzelnen Geräten eine unterschiedliche Keimausbeute erzielt wird (BOURDILLON, LIDWELL und THOMAS 1941, VLODAVEC 1959). Ferner fehlen in den Berichten oft Vergleichsuntersuchungen mit anderen Geräten oder diese beziehen sich auf Sammler, die wenig gebräuchlich bzw. anderen Untersuchern schwer zugänglich sind. Nicht selten unterblieben auch Überprüfungen

des Keimgehaltes der Abluft als einem wichtigen Kriterium für die Beurteilung eines Luftkeimsammelgerätes. Es ist somit nicht verwunderlich, wenn die Aussagen über die Leistungsfähigkeit von Luftkeimsammlern im allgemeinen sehr unbefriedigend sind. So hat z. B. VLODAVEC (1959) den Schlitzsammler nach KROTOV und den Zerstäuber nach RECMJENSKIJ als am wirkungsvollsten bezeichnet, denen der Reihe nach das Membranfilter-Gerät, Impinger-Gerät (nach DJAKONOW) und die Luftzentrifuge (nach SAFIR) folgen. Von SUJKOWA (1959) wird für das Membranfilter-Gerät eine Erfassungschance von 98 % angegeben. Der Schlitzsammler nach BOURDIL-LON, LIDWELL und THOMAS (1941) wird von seinen Autoren besser beurteilt als die Zentrifuge nach WELLS und der Kapillar-Impinger von NOLLER und SPENDLOVE (1956) für weitaus besser befunden als das Membranfilter-Gerät. Mit dem Zerstäuber-Gerät (modifiziert nach MOULTON) erhielt ALBRECHT (1957) höhere Keimzahlen als mit einem Impinger-Gerät, dem von WINDISCH (1965) wiederum eine Keimerfassungschance von 98 % zugesprochen wurde.

Im Hinblick auf die vielseitige Problematik, die mit Luftkeimgehaltsbestimmungen verbunden ist, war es Aufgabe vorliegender Arbeit, mit einigen bekannten und neu entwickelten Geräten quantitative Vergleichsuntersuchungen des Keimgehaltes der normalen (Wohnraum-) Luft durchzuführen.

B. Zur Methodik

=====

Für unsere Untersuchungen verwendeten wir die 8 folgenden, in der Abbildung 1 schematisch wiedergegebenen Luftkeimsammelgeräte:

- I. 2 Schlitzsammler nach KROTOV ("Krasnogwardejcz"-Werk, UdSSR)
 - a) original
 - b) mit veränderter motorischer Ausrüstung sowie Luftzuführung mit und ohne Trichter
- II. 2 nachgebaute Slit-Sampler nach DECKER und WILSON (Fort Detrick, USA)
 - a) original
 - b) leicht modifiziert (wie bei Ib)

- III. 8 Kapillar-Impinger nach BRONN (Glasbläserei des Instituts für Gärungsgewerbe, Berlin)
- IV. 2 Fritte-Impinger (Gaswaschflaschen der Fa. Schott & Gen., Mainz)
- V. 4 Membranfilter-Geräte (Sartorius Membranfiltergesellschaft GmbH., Göttingen)
- VI. 1 Sprüngerät¹⁾ (mit permanent verwendeter Auffangflüssigkeit)
- VII. 6 Zentrifugengeräte (Vertikal)¹⁾
 - a) mit rotierenden Agartrommeln (8,5 cm Höhe x 62,8 cm Umfang)
 - b) mit rotierenden Flüssigkeitstrommeln
- VIII. 1 Agartrommel-Gießgerät¹⁾, bei geringer Modifizierung zugleich Zentrifugengerät (Horizontal) mit rotierender Agartrommel (8,5 cm Höhe x 62,8 cm Umfang)
 - a, b, c, d) bei reguliertem Luftzutritt (geschlossenes System)
 - e) bei freiem Luftzutritt

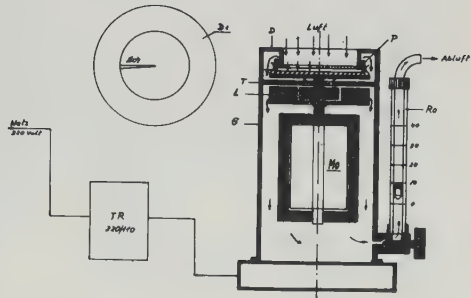
Der für die verschiedenen Luftkeimsammelgeräte benötigte Luftdurchfluß erfolgte auf verschiedene Weise: Beim Krotov-Gerät (I) mittels einer eingebauten, angetriebenen Lamellen-Drehscheibe, bei den Geräten II, V und VII (geschlossene Vertikal-Zentrifuge) mittels eines am Abluftrohr angebrachten Staubsaugers, wobei die Luftmenge durch ein vorgeschaltetes Nadelventil reguliert wurde; für die Geräte III, IV und VI verwendeten wir eine Wasserstrahlpumpe; während bei der offenen Vertikal-Zentrifuge der durch die mitrotierende Schlitzdüse (VII) entstehende Luftzug ausreichend war, verwendeten wir für die Geräte VIII a - e eingebaute Luftblätter (als Ventilator). Die Luftvolumenmessungen wurden mittels Wright-Respirometer²⁾ (Meßbereich bis 100 l bzw. bis 10.000 l Luft) bzw. bei den Krotov-Geräten und Kapillar-Impingern mittels der eingebauten Rotameter (Meßbereich 20 - 40 l/min. bzw. bis 150 l/h) vorgenommen.

1) Diese Geräte sind von Herrn Ing. A. REUTER in Zusammenarbeit mit Herrn Oberarzt Dr. W. SCHIFF konstruiert worden.

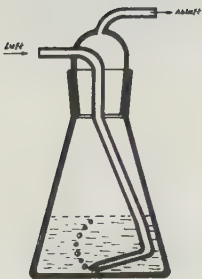
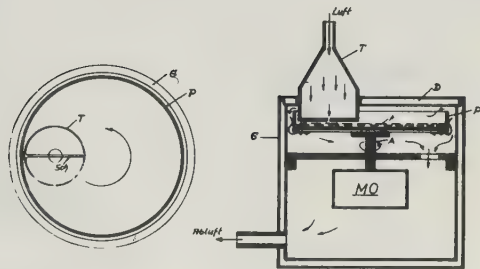
2) The British Oxygen Company, London.

Abbildung 1

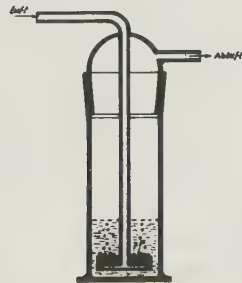
I. Krotov-Gerät



II. Slit-Sampler



III. Kapillar-Impinger

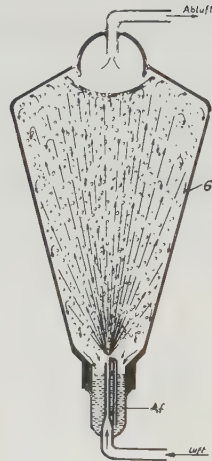


IV. Fritte-Impinger

Abbildung 1 (1. Forts.)

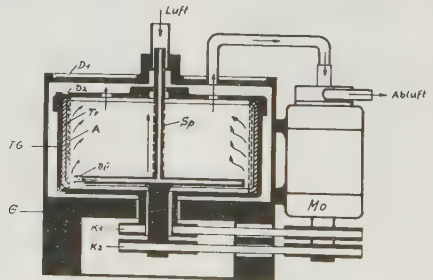


V. Membranfiltergerät



VI. Sprüngerät

VII. Zentrifugengerät
(Vertikal)



VIII. Zentrifugengerät
(Horizontal)

e) Agartrommel-Gießgerät

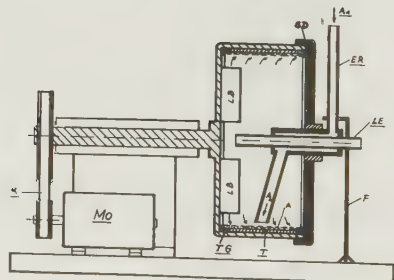
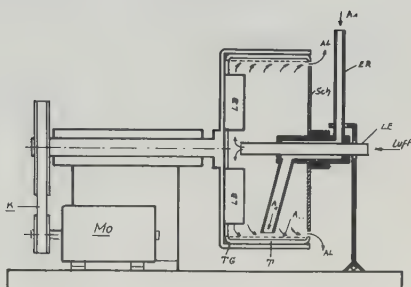
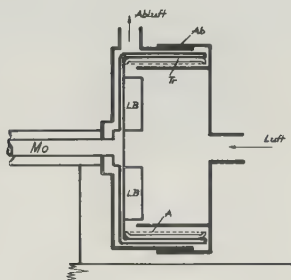


Abbildung 1 (2. Forts.)

b) mit feststehender
Abdeckscheibe



c) mit feststehendem
Abdecktopf



d) mit feststehendem
Luft einlaßtrichter

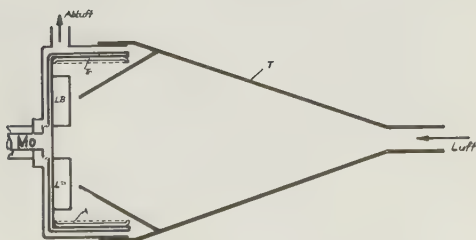
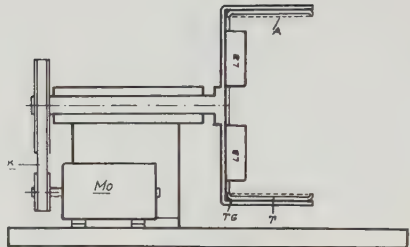


Abbildung 1 (3. Forts.)

e) bei freiem Luftzutritt



Erläuterungen:

A	= Agarfläche	LE	= Lufteinlaßrohr
A ₁	= Agareinfluß	MF	= Membranfilter
Ab	= Abdecktopf	Mo	= Motor
Af	= Auffangflüssigkeit	P	= Petrischale
Al	= Abluft	Ro	= Rotameter
D	= Deckel	Sch	= feststehende Abdeckscheibe
Dü	= Düse	Schl	= Schlitz
ER	= Einfüllrohr	SD	= Schraubdeckel
F	= Fritte	Sp	= Spindel
G	= Gehäuse	St	= Stützsieb
K	= Keilriemen	T	= Trichter
L	= Lamellen-Drehscheibe	TG	= Trommelgehäuse
LB	= Luftblätter	Tr	= Trommel

Zum Auffangen und zur Kultivierung der mit den Geräten I, II, VII und VIII gesammelten Luftbakterien benutzten wir im allgemeinen Nutrient-Agar (Difco), jeweils mit Zusatz von 5 - 7 % defibriniertem Schafblut; hierbei ist bei den Zentrifugentrommeln der Agargehalt von 1,5 % auf 2,5 % erhöht worden. Beim Membranfiltergerät benutzten wir als Filter die Typen MF-Gelatine (Ø 50 mm), das nach Verwendung in 30 ml physiol. NaCl-Lösung 30 min. bei 37 ° C aufgelöst wurde, worauf diese Flüssigkeit durch ein Membranfilter MF 100 (Ø 50 mm) filtriert wurde. Hierauf sind diese Filter auf Blutagarplatten gelegt und bebrütet worden. Für die beiden Impinger-Verfahren und das Sprühgerät (Geräte III, IV und VI) diente als Auffangflüssigkeit (150 bzw. 15 ml) eine wässrige Lösung von 0,2 % Di-Natriumhydrogenphosphat und 0,2 % Gelatine. Die in der Auffangflüssigkeit gewonnenen Bakterien sind mittels des Keimgußverfahrens unter Verwendung von Nutrient-Agar gezüchtet und ausgezählt worden. Die Auszählung der Bakterienkolonien erfolgte nach 2-täg. Bebrütung der Agarplatten und -trommeln bzw. nach 3-täg. Bebrütung der Keimgußplatten bei 37°C. Falls eine Sterilisierung der einzelnen Geräte nebst Zubehör nicht im Autoklaven oder Heißluftsterilisator möglich war, erfolgte eine Entkeimung mittels einer Bunsenbrennerflamme.

C. Untersuchungsergebnisse

=====

I. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des Krotov-Gerätes

Die ersten Versuche führten wir mit zwei Schlitzsammlern nach KROTOV (1957) durch.

Da sich die Geräte, insbesondere in ihrer elektrischen Ausrüstung, bald als sehr störanfällig erwiesen, waren öfters mehrwöchige Reparaturen, u. a. die Installierung eines neuen Elektromotors erforderlich. In letzterem Falle war erst hier nach ein maximaler Luftdurchfluß von 40 l/min. erreichbar. Kleinere Luftprobenmengen als 20 l/min. wurden mittels eines aufgesetzten Respirometers gemessen. (Technische Unzulänglichkeiten werden auch von VLODAVEC (1957) angegeben.)

Um die von einigen Autoren (BOURDILLON 1941, MORIK 1961) für Schlitzsammler angegebene Abhängigkeit der Keimausbeute von der Luftdurchflußmenge bzw. -geschwindigkeit zu untersuchen, ist bei den insgesamt 45 Vergleichsversuchen zur Tabelle 1 im Verlauf von mehreren Tagen die Luftkeimausbeute bei einem Luftdurchfluß von 5, 10, 20 oder 40 l/min. vergleichsweise untersucht

Tabelle 1

45 vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels zweier Krotov-Geräte bei verschiedener Luftprobenmenge

Versuchsraum: Kleines Laboratorium

Versuchsdauer: Jeweils 10 min.

K r o t o v - G e r ä t						
I	II	I	II	II	I	
Luftdurchfluß pro min.						
5 l	10 l	10 l	20 l	20 l	40 l	
Keimzahlen pro 10 min. Laufzeit						
19	14	24	30	55	46	
5	10	35	59	36	36	
11	19	42	55	34	82	
14	18	35	71	15	43	
22	54	35	28	29	48	
33	37	28	44	34	40	
12	21	28	40	33	70	
19	34	14	40	48	44	
14	15	28	38	22	41	
7	8	17	37	80	145	
13	11	53	122	54	117	
14	13	21	22	61	90	
9	14	9	28	32	60	
18	14	83	85	54	24	
5	9	46	105	41	82	
Mittel- werte	14	19	33	54	42	66
Mittel- werte /m ³ Luft	280	190	330	270	210	165
in rel. %	100	68	68	56	56	44

worden. Da für die 4 verschiedenen Luftprobenmengen nur zwei Geräte zur Verfügung standen, wurde jeweils bei einem Gerät durch Einstellung einer anderen Luftprobenmenge eine Bezugsgröße erhalten. Hierbei fanden wir bei einheitlich 10 min. Laufzeit (50, 100, 200 bzw. 400 l Luftproben-Gesamt Mengen) im Durchschnitt 280 bzw. 190/330 bzw. 270/210 bzw. 165 Keime pro 1 m^3 Luft. Die festgestellte Schwankungsbreite bewegte sich etwa innerhalb + 250 % und - 65 %. (Wegen dieser großen Streuwerte, die mehr oder weniger auch bei Versuchen mit anderen Geräten auftraten, waren zur Erzielung einigermaßen zuverlässiger Durchschnittswerte jeweils eine größere Anzahl von Einzelversuchen notwendig.)

Bei Umrechnung in relative %-Werte ergab sich, daß die beste Keimausbeute bei dem geringsten Luftdurchfluß von 5 l/min. lag. Setzt man die hierbei erzielte Keimausbeute mit 100 % an, so verminderte sich diese bei Erhöhung des Luftdurchstroms auf 10, 20 bzw. 40 l/min. auf rund 68, 54 bzw. 43 %. Eine Prüfung noch kleinerer Luftprobenmengen unterließen wir wegen einer zu starken Erhitzung des Gerätes, was auf einen zu schwachen Kühleffekt infolge des reduzierten Luftstroms zurückzuführen sein dürfte. Zudem versagte bei geringeren Luftmengen der eingebaute Rotameter. Aus diesem Grunde nahmen wir auch im allgemeinen die weiteren Prüfungen bei dem weniger optimalen Luftdurchfluß von 20 l/min. vor, was gegenüber einem solchen von 5 l/min. zwangsläufig zu einer nur etwa halb so großen Keimausbeute führte. Diese relativ niedrigen Luftkeimwerte ließen daran denken, daß sie durch die starke Erhitzung des Gerätes (vor allem durch die im Gehäuse befindlichen elektrischen Widerstände) bedingt seien. Zur Klärung dieser Frage wurde bei entsprechenden Vergleichsversuchen ein Gerät (I) original belassen, während beim anderen Gerät (II) die im Gehäuse befindlichen Widerstände durch einen außen vorgeschalteten Trafo (VT 220/110) ersetzt wurden. Außerdem erfolgten Temperaturmessungen mittels am Gehäuse aufgeklebtem, kleinem Thermometer. Wie aus der Tabelle 2 ersichtlich ist, stieg die äußere Gehäuse-Temperatur während fünf unmittelbar aufeinanderfolgender Versuche von jeweils 10 min. Dauer nur auf 39°C , während sie beim Original-Gerät 62°C erreichte. In beiden Fällen stellten wir jedoch übereinstimmende Luftkeimzahlen von durchschnittlich 38 bzw. 36/200 l Luft fest. Die festgestellte, beim vorausgegangenen Versuch relativ geringe Keimausbeute konnte somit

nicht mit einer zu starken Eigenerhitzung der Geräte erklärt werden. (Bei allen weiteren Versuchen wurden beide Krotov-Geräte mit Außentrafo benutzt.)

Tabelle 2

Vergleich der Luftkeimausbeute des Krotov-Gerätes bei unterschiedlicher Eigenerhitzung (mit und ohne Außentrafo)

Versuchsraum: Kleines Laboratorium

Versuchsdauer: Jeweils 10 min.

Luftdurchfluß: 20 l/min.

Vers.- Nr.	Gehäuse- Temperatur (° C)	K I (orig) (ohne Trafo) Keimzahlen /200 l	Gehäuse- Temperatur (° C)	K II (mit Trafo) Keimzahlen /200 l
1	20	28	20	22
2	48	64	31	54
3	57	53	36	57
4	60	18	36	19
5	62	26	39	27
Mittel- werte /200 l Luft		<u>38</u>		<u>36</u>

Wegen der Vermutung, daß auf der Agarplatte ein großer Teil der Luftkeime gar nicht erfaßt wird, prüften wir den Keimgehalt der Abluft, und zwar mit und ohne eingesetzter Agarplatte (bei einem Luftdurchfluß von 10 l/min.), mittels eines Membranfilter-Geräts (lösliche Gelatinefilter). Die in der Tabelle 3 aufgeführten Resultate sprechen zwar für eine sehr keimarme Abluft, doch ist zu bedenken, daß nach den Erfahrungen anderer Autoren (MITCHELL und Mitarb. 1953, GUYTON und BUCHANAN 1956, NOLLER und SPENDIOVE 1956) bei diesem Filterverfahren eine Zerstörung vegetativer Bakterien durch Austrocknung oder Aufprall erfolgen kann. Bemerkenswerterweise war die Abluft genauso keimarm, falls keine Agarplatte eingelegt worden war. Ähnliche Ergebnisse erhielten wir auch bei

Tabelle 3

Bestimmung des Luftkeimgehalts in der Abluft des Krotov-Gerätes
mittels Membranfilter-Gerät (MF)
 (6 Vergleichsversuche)

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Luftdurchfluß: 10 l/min.

Versuchsdauer: Jeweils 10 min.

K r o t o v - G e r ä t		
<u>mit</u> Agarplatte		<u>ohne</u> Agarplatte
Zuluft (Agarplatte)	Abluft (MF)	Abluft (MF)
K e i m z a h l e n		
11	1	0
12	0	0
21	0	0
86	0	1
20	0	2
32	0	0
Mittelwerte/m ³ Luft		
300	2	5

Abluftprüfungen mittels des Slit-Samplers. Die Ursache des innerhalb des Gerätes sich vollziehenden Keimchwundes blieb ungeklärt. Somit gestatten diese Abluftprüfungen keinerlei Aussage über den Wirkungsgrad des Krotov-Gerätes.

Angesichts der aus der Tabelle 1 ersichtlichen großen Streubreite der Luftkeimzahlen und im Hinblick auf die Notwendigkeit, die Luftkeimgehaltsbestimmungen zu verschiedenen Tageszeiten durchzuführen, war eine nähere Kenntnis der von zahlreichen Autoren berichteten tageszeitlichen Schwankungen wünschenswert. (PADY und KELLY 1953, WOLF und Mitarb. 1959). Mit den zwei

Krotov-Geräten untersuchten wir daher an 8 Versuchstagen in jeweils 2-std. Abständen den Luftkeimgehalt eines Laboratoriumsraumes. (Der etwa 95 m^3 große und an einer Verkehrsstraße liegende Raum war während der Versuche unterschiedlich mit 1 - 4 Personen belegt; die Fenster waren stets geschlossen.) Wie die Tabelle 4 zeigt, lagen die Keimzahlen vormittags deutlich höher als nachmittags und abends. Die hierbei ermittelten Durchschnittswerte pro m^3 Luft sind in der Abbildung 2 graphisch wiedergegeben. Es ist daraus ersichtlich, daß bei beträchtlichen Einzelstreuungen und (unter den gegebenen Bedingungen) kurzfristigen Schwankungen der Keimgehalt von durchschnittlich 415 um 8^{oo} Uhr ^{auf} durchschnittlich 68 um 22^{oo} Uhr abfiel. In diesem Zeitraum verminderte sich also der relative Luftkeimgehalt um rund 84 %. Vergleichsweise mit den gleichen Geräten durchgeführte Orientierungsversuche in einem kleineren (34 m^3) unbelegten Laboratoriumsraum sowie im verkehrsarmen Freien ergaben geringere Keimgehaltswerte und im gleichen Zeitraum Abnahmen von 125 auf 65 bzw. 200 auf 40 Keime pro m^3 Luft. Diese geringen Keimausbeuten erweckten wiederum den Eindruck, daß das Krotov-Gerät für eine befriedigende Bestimmung des Luftkeimgehalts wenig geeignet ist.

Da bei unseren Keimgehaltsbestimmungen die Sammelgeräte oft nur mit kurzfristigen Unterbrechungen in Betrieb waren, prüften wir ferner die Frage, ob die Dauer der Betriebszeit eine unterschiedliche Keimausbeute zur Folge hat. Zu diesem Zweck führten wir mit beiden Krotov-Geräten, bei jeweils gleicher Einstellung, unmittelbar aufeinanderfolgende Keimgehaltsbestimmungen von 5, 10 und 20 min. Dauer durch, und zwar mit dem einen Gerät in dieser und mit dem zweiten Gerät in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge. Die bei insgesamt 10 derartigen Versuchen erhaltenen Einzel- und Mittelwerte sind in der Tabelle 5 wiedergegeben. Im Hinblick auf die um den Faktor 2 differierenden Laufzeiten hätten die theoretisch zu erwartenden Keimzahlen im Verhältnis 1 : 2 : 4 (bzw. umgekehrt) stehen müssen.

Wie die Tabelle 6 jedoch zeigt, entsprachen die durchschnittlichen Keimzahlen nur bei abnehmenden Versuchszeiten mit Proportionen von 0,86 : 2,21 : 4 etwa diesem theoretischen Verhältnis, während bei zunehmenden Laufzeiten Proportionen von nur 1 : 1,7 : 2,1 erhalten wurden. Diese Befunde besagen, daß durch längere Laufzeiten die Keimausbeute der Krotov-Geräte beeinträchtigt wird. Da nach unseren in der Tabelle 3 aufgezeigten Befunden dies nicht

Tabelle 4

Vergleichsbestimmung des Keimgehaltes der Luft (200 l)
zu verschiedenen Tageszeiten mit zwei Krotov-Geräten

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Luftdurchfluß: 20 l/min.

Versuchsdauer: Jeweils 10 min.

Tages- zeit*)	Kro- tov	Versuchstage (1965)								Mit- tel- wert	Durch- schnitts- werte für I + II
		30. 3.	1. 4.	5. 4.	17. 8.	19. 8.	24. 8.	27. 8.	2. 9.		
		Keimzahlen pro 200 l Luft/10 min.									
8 ⁰⁰	I II	. .	33 35	72 31	187 158	113 100	44 38	105 25	115 105	96 70	<u>83</u>
10 ⁰⁰	I II	17 48	30 31	7 12	65 46	42 41	88 62	81 17	86 80	52 42	<u>47</u>
12 ⁰⁰	I II	49 44	. .	12 14	69 64	81 73	92 98	56 65	61 67	60 61	<u>60,5</u>
14 ⁰⁰	I II	40 56	2 0	8 12	28 38	55 30	12 23	37 35	57 41	30 29	<u>29,5</u>
16 ⁰⁰	I II	39 41	38 22	14 8	66 65	84 113	17 6	49 61	36 44	43 45	<u>44</u>
18 ⁰⁰	I II	33 33	14 5	11 20	18 13	30 27	10 7	21 12	27 13	21 16	<u>18,5</u>
20 ⁰⁰	I II	47 47	17 11	24 32	17 18	15 17	7 3	5 5	12 11	18 18	<u>18</u>
22 ⁰⁰	I II	30 65	3 4	23 33	5 14	7 11	3 1	5 6	3 4	10 17	<u>13,5</u>

*) Beginn der Versuchsdauer

Abbildung 2

Tageszeitliche Schwankungen des Luftkeimgehaltes
(Einzel- und Mittelwerte von Tabelle 4)

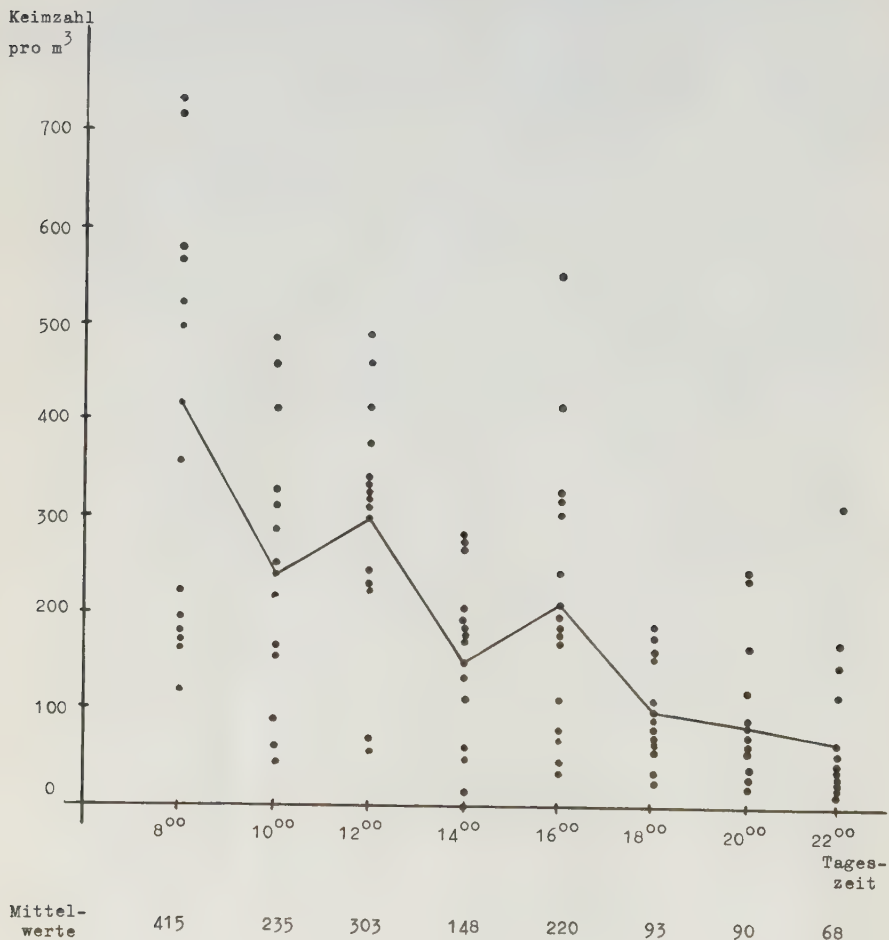


Tabelle 5

Luftkeimausbeute beim Krotov-Gerät bei aufeinanderfolgender,
zu- oder abnehmender Versuchsdauer

Versuchsraum: Kleines Laboratorium

Luftdurchfluß: Einheitlich 20 l/min.

	Krotov		Krotov		Krotov	
	I	II	I	II	I	II
	K e i m z a h l e n					
Versuchs- Nr.	Versuchsdauer					
	5 min.		10 min.		20 min.	
1	61	64	99	126	151	227
2	51	60	103	103	81	54
3	45	48	72	66	83	100
4	57	45	77	81	91	97
5	44	32	61	78	102	89
Mittelwerte	52	50	82	91	102	113
	<u>51</u>		<u>86,5</u>		<u>107,5</u>	
	Versuchsdauer					
	20 min.		10 min.		5 min.	
6	430	324	247	222	80	80
7	215	189	125	121	70	37
8	100	96	29	45	17	14
9	91	55	31	30	11	22
10	47	52	15	24	8	9
Mittelwerte	177	143	89	88	37	32
	<u>160</u>		<u>88,5</u>		<u>34,5</u>	

Tabelle 6

Verhältnis der theoretischen zur tatsächlichen Keimausbeute
voriger Durchschnittswerte

	Versuchsdauer		
	5 min.	10 min.	20 min.
theoretisch	1	2	4
tatsächlich, bei zunehmender Versuchsdauer	1	1,70	2,10
tatsächlich, bei abnehmender Versuchsdauer	0,86	2,21	4

mit einer zunehmenden Eigenerhitzung zu erklären ist, und auch die nachgewiesenen kurzfristigen Schwankungen (s. Abb. 2) für eine Erklärung nicht ausreichen, dürften andere Gründe ursächlich eine Rolle spielen. Auch diese Erfahrung verdient bei einer Beurteilung des Krotov-Gerätes Beachtung.

Für derartige differierende Keimausbeuten kommt offensichtlich einem unterschiedlichen Alter der festen Nährmedien keine Bedeutung zu. Denn bei entsprechenden Vergleichsversuchen ergaben sich mit frisch gegossenen oder 24 Std. alten Blutagarplatten übereinstimmende Keimzahlen.

Schließlich zeigte sich, wie aus Tabelle 7 hervorgeht, bei der Untersuchung von 5 handelsüblichen Basis-Nährmedien für die Herstellung von Blutagar, daß mit Tryptose-Agar (Difco) etwa doppelt so hohe Luftkeimzahlen zu erzielen sind wie mit Extrakt-Agar (Difco), Standard-I-Nähragar (Merck) und gewöhnlichem Nähragar. Nur geringfügig schlechter als der Tryptose-Agar erwies sich Nutrient-Agar (Difco). Ähnliche Resultate werden von MITCHELL, TIMMON und DORRIS (1951) angegeben.

Tabelle 7

Quantitative Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels 5 verschiedenen
Nährmedien im Vergleich zu gewöhnlichem Nähragar

Luftkeimsammler: 2 Krotov-Geräte
Versuchsraum: Kleines Laboratorium
Luftdurchfluß: 20 l/min.
Versuchsdauer: 10 min.

Versuchs- tag	Vers.- Nr.	K e i m z a h l e n	
		Extract-A. (Krotov-I)	Nähragar (Krotov II)
2. 7.	1	100	94
	2	51	48
	3	55	38
	4	50	24
	5	26	39
	Mittel- werte	56	49
6. 7.		Tryptic-Soy-A.	Nähragar
	6	57	53
	7	32	25
	8	69	29
	9	40	50
	10	58	40
	Mittel- werte	51	37
8. 7.		Tryptose-A.	Nähragar
	11	49	24
	12	76	14
	13	47	30
	14	31	35
	15	59	20
	Mittel- werte	51	25
11.11.		Nutrient-A.	Nähragar
	16	22	27
	17	16	13
	18	56	50
	19	51	46
	20	78	40
	Mittel- werte	45	35
8.11.		Standard I A.	Nähragar
	21	31	33
	22	32	14
	23	16	19
	24	20	20
	25	24	27
	Mittel- werte	25	22

II. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des Slit-Samplers (Fort Detrick)

Mitte März 1965 standen uns zwei Geräte zur Verfügung, die nach den Originalvorlagen des amerikanischen Slit-Samplers (DECKER und WILSON, Fort Detrick, 1954) nachgebaut wurden (s. Abbildung 1, II).

Statt des im Originalgerät vorhandenen Uhrwerks mit 60 min. Laufzeit pro Umdrehung (zum Transport der Keimauffang-Agarplatte) wurde ein solches von 15 min. Umdrehungszeit eingebaut. Zur Messung des Luftdurchstroms brachten wir am Abluftrohr ein Respirometer (Wright) an, das mit dem Ansaugrohr eines Staubsaugers verbunden wurde. In der amerikanischen Literatur (DECKER, KUEHNE, BUCHANAN und PROCTER 1958, WOLF und Mitarbeiter 1959) wird als optimaler Luftdurchstrom eine Luftmenge von ca. 28 l/min. (bzw. 1 cfm) bei einer Schlitzbreite von ca. 0,2 mm angegeben.

Die mit beiden Geräten vorgenommenen ersten Keimgehaltsbestimmungen erfolgten bei einem Luftdurchfluß von 20 l/min. (Schlitzbreite 0,2 mm). Zur Kontrolle wurden gleichzeitig mit den beiden Krotov-Geräten gleich große Luftprobenmengen untersucht. Die bei insgesamt 19 solcher Vergleichs-Doppelprüfungen erhaltenen Keimzahl-Einzel- und Mittelwerte sind in der Tabelle 8 einander gegenübergestellt. Unter den gegebenen Bedingungen besaßen die Slit-Sampler mit einer Ausbeute von 144 Keimen pro m³ Luft (d.h. 28,8/200 l) gegenüber 214 bei den Krotov-Geräten eine um etwa 1/3 geringere Keimerfassungschance.

Da beide Fabrikate sich funktionell im wesentlichen nur durch eine unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeit der Agarplatten und durch eine verschiedene Luftzuführung (mit bzw. ohne Trichter) unterscheiden, lag die Vermutung nahe, hierin eine Ursache der differierenden Keimausbeute zu erblicken. Wir ersetzten daher zunächst bei einem Slit-Sampler das im Gehäuse befindliche Uhrwerk durch einen Kleinst-Elektromotor, um es hierdurch funktionell dem Krotov-Gerät anzugleichen. Bei jeweils gleichem Luftdurchstrom von 20 l/min. und 10 min. Laufzeit verglichen wir den Wirkungsgrad des originalen mit dem des derart modifizierten Slit-Samplers. Bei insgesamt 41 solcher gleichzeitiger Vergleichsprüfungen erhielten wir jedoch übereinstimmende Keimausbeuten, nämlich im Mittel 102 bzw. 106 Keime pro m³ Luft. Dieses Resultat läßt den Schluß zu, daß eine unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeit der Agarplatten die Keimausbeute nicht wesentlich beein-

Tabelle 8

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mit jeweils zwei Slit-Samplern (Fort Detrick) und Krotov-Geräten

Versuchsraum: Kleines Laboratorium

Versuchsdauer: 10 min.

Luftdurchfluß: 20 l/min.

Versuchs- tag	Slit-Sampler *)		Krotov-Gerät	
	I	II	I	II
	K e i m z a h l e n			
10. 5.	47	48	67	56
	60	52	56	66
	35	32	72	62
	38	60	43	58
19. 5.	43	49	35	61
	24	46	26	38
	38	44	62	38
	38	36	53	51
	37	28	41	33
26. 7.	23	26	32	47
	21	20	31	32
	28	14	52	56
	15	14	50	31
	20	14	29	38
27. 7.	10	19	39	44
	9	6	20	19
	11	9	17	16
	20	26	57	39
	19	17	20	35
Mittelwerte /200 l Luft	28,2	29,4	42,2	43,2
Mittelwerte / m ³ Luft	141	147	211	216
	144		214	

*) Luftdurchfluß 20 l/min.,
Schlitzbreite 0,2 mm,
Schlitz/Agar-Abstand 3 mm.

flußt und daher nicht die Ursache der beim Slit-Sampler und Krotov-Gerät differierenden Keimausbeute sein kann.

Wir untersuchten daher anschließend, inwieweit der Wirkungsgrad des Slit-Samplers von der Luftzuführung, d. h. von der Einstellung des Gerätes hinsichtlich Schlitz/Agar-Distanz, Schlitzbreite und Luftdurchstrom abhängt. Um hierbei eine Bezugsgröße zu besitzen, lief als Vergleich stets das zweite Gerät mit, und zwar konstant bei einer Schlitz/Agar-Distanz von 3 mm, einer Schlitzbreite von 0,2 mm und einem Luftdurchfluß von 10 l/min.. Die bei insgesamt 81 solcher Vergleichsprüfungen ermittelten Luftkeimzahlen und Vergleichswerte, die in der Tabelle 9 wiedergegeben sind, zeigten einen ähnlich großen Streubereich wie die beim Krotov-Gerät (s. Tabelle 1): Der festgestellte minimale und maximale Einzelwert betrug 38 bzw. 1780 Keime/m³ Luft (jeweils bei einem Luftdurchfluß von 40 l/min.). In der Tabelle 10 sind die bei den verschiedenen Einstellungen erhaltenen Mittelwerte in % der jeweiligen Vergleichswerte (= 100 %) aufgeführt. Hieraus ist ersichtlich, daß bei einer Schlitz/Agar-Distanz von 3 - 6 mm, Schlitzbreite von 0,4 mm und einem Luftdurchfluß von 5 l/min. mit einer relativen Keimausbeute von 180 - 173 % die besten Resultate erzielt wurden. Für unsere weiteren Versuche stellten wir daher - im Gegensatz zu den Empfehlungen amerikanischer Autoren - das Gerät stets auf eine Schlitz-Agar-Distanz von 3 mm, Schlitzbreite von 0,4 mm und einen Luftdurchfluß von 5 l/min. ein. (Da dieses Gerät durch ein Uhrwerk betrieben wird, besteht keine Gefahr der Eigenerhitzung.)

Die Ergebnisse unserer Versuche zu den Tabellen 8 und 9 ließen den Schluß zu, daß unter den letzteren Bedingungen der Slit-Sampler (Fort Detrick) dem Krotov-Gerät etwa gleichwertig ist, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß beim letzteren Gerät ein nicht optimaler Luftdurchfluß von 20 l/min. erfolgt. Dies bestätigte sich bei den nachstehenden Untersuchungen, die zugleich die Frage beantworten sollten, inwieweit sich ein Luftzufuhrtrichter auf die Keimausbeute auswirkt. Hierfür wurde bei einem der beiden Slit-Sampler der Luftzufuhrtrichter entfernt und bei einem der beiden (im Original trichterlosen) Krotov-Geräte ein Trichter (mit gleichgroßer Lufteintrittsöffnung) aufgesetzt. Die bei insgesamt 25 derartigen Versuchen mit jeweils 4 Luftkeimsammlern erhaltenen durchschnittlichen Keimzahlen pro

Tabelle 9

Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Slit-Sampler (Fort Detrick) bei verschiedener Schlitz/Agar-Distanz, Schlitzbreite und Luftprobenmenge

Laufzeit: Jeweils 10 min.

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Vers.- Nr.	Tag und Vers.- Beginn	a) bei Schlitz/Agar-Distanz <u>3 mm</u>					
		Schlitz- breite mm	Luft- menge 1/min.	K e i m z a h l e n			
				pro Agar- platte	pro ³ 1 m ³ Luft	Kontr. Werte *) pro Agar- platte	pro ³ 1 m ³ Luft
1	21.9.- 9 ¹⁰	0,1	2,5	10	400	26	260
2	24.9.-15 ³⁰			10	400	26	260
3	21.9.- 9 ²⁵		5	7	140	21	210
4	21.9.- 9 ⁴⁰			12	240	28	280
5	24.9.-16 ⁰⁰			9	180	25	250
6	4.10.-16 ¹⁰			20	400	33	330
7	24.9.-16 ²⁰		10	22	220	17	170
8	21.9.-10 ⁴⁰	0,2	2,5	15	600	42	420
9	24.9.-16 ⁴⁰			9	360	24	240
10	15.9.-10 ²⁵		5	24	480	49	490
11	21.9.-10 ⁵⁵			17	340	24	240
12	25.9.- 9 ⁰⁰			10	200	15	150
13	4.10.-16 ³⁰			32	640	31	310
14	15.9.-10 ⁴⁰		10	44	440	35	350
15	15.9.-11 ⁰⁰		20	49	245	43	430
16	15.9.-15 ²⁰		40	47	118	20	200
17	21.9.-11 ¹⁰	0,4	2,5	5	200	20	200
18	25.9.- 9 ²⁰			6	240	19	190
19	15.9.-15 ⁴⁵		5	13	260	10	100
20	21.9.-11 ²⁵			12	240	25	250
21	25.9.-10 ²⁰			15	300	10	100
22	4.10.-16 ⁵⁰			32	640	38	380
23	16.9.- 8 ¹⁵		10	33	330	46	460
24	16.9.- 8 ⁴⁰		20	48	240	44	440
25	16.9.- 8 ⁵⁵		40	167	418	178	1780

1. Forts. von Tab. 9

Vers.- Nr.	Tag und Vers.- Beginn	Schlitz- breite mm	Luft- menge 1/min.	Keimzahlen			
				pro- Agar- platte	pro ₃ 1 m ³ Luft	Kontr.Werte*)	
26	21.9.-11 ⁴⁰	0,6	2,5	5	200	12	120
27	25.9.-10 ³⁵			5	200	15	150
28	16.9.-9 ¹⁵		5	46	920	65	650
29	21.9.-12 ²⁰			13	260	11	110
30	25.9.-11 ⁴⁰			22	440	29	290
31	4.10.-17 ¹⁰			16	320	19	190
32	16.9.-9 ³⁰		10	46	460	48	480
33	16.9.-9 ⁴⁵		20	108	540	81	810
34	16.9.-11 ⁰⁰		40	64	160	46	460
35	21.9.-12 ⁴⁰	0,8	2,5	4	160	18	180
36	25.9.-12 ⁰⁰			2	80	10	100
37	16.9.-11 ³⁵		5	52	1040	66	660
38	21.9.-13 ⁰⁰			22	440	16	160
39	25.9.-12 ²⁰			7	140	10	100
40	4.10.-17 ³⁰			12	240	18	180
41	16.9.-15 ³⁰		10	31	310	38	380
42	16.9.-15 ⁴⁵		20	32	160	47	470
43	16.9.-16 ⁰⁰		40	64	160	28	280
b) bei Schlitz/Agar-Distanz 6 mm							
44	21.9.-14 ⁰⁰	0,1	2,5	4	160	12	120
45	1.10.-15 ⁰⁰			4	160	11	110
46	21.9.-14 ²⁰		5	6	120	9	90
47	1.10.-15 ⁴⁰			4	80	12	120
48	1.10.-15 ²⁰			7	140	15	150
49	21.9.-15 ⁰⁰	10	71	710	77	770	
50	21.9.-16 ¹⁰	0,2	2,5	9	360	26	260
51	1.10.-16 ¹⁰			4	160	10	100
52	16.9.-16 ⁰⁰		5	44	880	57	570
53	22.9.-9 ²⁰			31	620	52	520
54	1.10.-16 ¹⁰			3	60	5	50
55	16.9.-16 ³⁵		10	87	870	125	1250
56	16.9.-16 ⁵⁰		20	80	400	33	330
57	16.9.-17 ¹⁰		40	40	100	29	290

2. Forts. von Tab. 9

Vers.- Nr.	Tag und Vers.- Beginn	Schlitz- breite mm	Luft- menge l/min.	K e i m z a h l e n (Kontr. Werte*)			
				pro Agar- platte	pro ₃ 1 m ³ Luft	pro Agar- platte	pro ₃ 1 m ³ Luft
58	22.9.- 9 ⁴⁰	0,4	2,5	19	760	55	550
59	1.10.-16 ⁵⁰			6	240	17	170
60	17.9.- 9 ⁰⁵		5	29	580	36	360
61	4.10.-12 ⁰⁰			44	880	42	420
62	22.9.- 9 ⁵⁰			34	680	44	440
63	17.9.-12 ³⁰			12	120	35	350
64	17.9.-12 ⁵⁰			13	65	14	140
65	17.9.-15 ²⁰		40	17	43	9	90
66	22.9.-10 ⁴⁰	0,6	2,5	8	320	17	170
67	4.10.-12 ¹⁵			8	320	24	240
68	17.9.-15 ³⁵		5	10	200	18	180
69	22.9.-11 ¹⁰			9	180	11	110
70	4.10.-12 ³⁰			14	280	28	280
71	17.9.-15 ⁵⁰		10	7	70	12	120
72	17.9.-16 ⁰⁵		20	13	65	10	100
73	17.9.-16 ²⁰		40	15	38	6	60
74	22.9.-11 ³⁰	0,8	2,5	21	840	56	560
75	4.10.-15 ⁵⁰			5	200	19	190
76	17.9.-16 ³⁰		5	5	100	10	100
77	22.9.-11 ⁴⁵			25	500	45	450
78	4.10.-16 ⁰⁰			16	320	29	290
79	17.9.-16 ⁴⁰		10	31	310	38	380
80	17.9.-16 ⁵⁵		20	77	385	45	450
81	17.9.-17 ⁰⁰		40	42	105	36	360

*) Beim Slit-Sampler-Kontrollgerät wurde stets folgende Versuchsanordnung eingehalten:
 3 mm Schlitz/Agar-Distanz,
 0,2 mm Schlitzbreite,
 Luftprobenmenge 10 l/min.,
 Laufzeit 10 min..

Tabelle 10

Werte der Luftkeimgehaltsbestimmungen von Tabelle 9 in % der jeweiligen Kontrollwerte = 100 %

Schlitz- breite mm	Luftmenge in l/min.				
	2,5	5	10	20	40
	Schlitz/Agar-Abstand 3 mm				
	*)	***)			
0,1	154 %	89 %	130 %	.	.
0,2	145 %	139 %	126 %	57 %	59 %
0,4	113 %	<u>180 %</u>	72 %	55 %	23 %
0,6	148 %	155 %	96 %	67 %	35 %
0,8	86 %	167 %	82 %	34 %	57 %
	Schlitz/Agar-Abstand 6 mm				
	*)	**)			
0,1	149 %	94 %	96 %	.	.
0,2	144 %	137 %	70 %	121 %	34 %
0,4	149 %	<u>173 %</u>	34 %	46 %	48 %
0,6	156 %	116 %	58 %	65 %	63 %
0,8	139 %	110 %	82 %	86 %	29 %

*) Durchschnittswerte aus jeweils 2 Vergleichs-Versuchen

**)

***)

m³ Luft sind in der Tabelle 11 einander gegenübergestellt und zeigen folgendes: Bei optimaler Einstellung (Luftdurchfluß 5 l/min.) entsprach der Wirkungsgrad des originalen Slit-Samplers (mit Trichter) dem des originalen Krotov-Gerätes (ohne Trichter); in beiden Fällen ergaben sich im Durchschnitt 172 bzw. 164 Keime/m³ Luft. Ohne Trichter ist hingegen der Slit-

Sampler mit einer durchschnittlichen Keimausbeute von 207 dem Krotov-Gerät mit Trichter mit einer Keimausbeute von 164 Keimen pro m^3 Luft sichtlich überlegen. Durch das Aufsetzen eines Trichters (Eintrittsöffnung jeweils 10 mm $\varnothing$) verringerten sich bei beiden Apparaten die Keimerfassungschancen jeweils um etwa 17 %. Die aus diesen Vergleichsuntersuchungen abgeleitete Beurteilung gilt allerdings nur hinsichtlich eines beim Krotov-Gerät erfolgenden Luftdurchflusses von 20 l/min.. Berücksichtigt man die bei einem optimalen Luftstrom von 5 l/min. (vgl. Tabelle 1) um 46 % erhöhten Keimausbeute (die wir wegen der Gefahr des Durchschmorens des Elektromotors unterließen), so ergibt sich rechnerisch eine deutliche Überlegenheit des russischen gegenüber dem amerikanischen Gerät, und zwar auch für den Fall einer Luftzufuhr mittels Trichter.

Tabelle 11

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mit
je 2 Slit-Samplern und Krotov-Geräten,
jeweils mit und ohne Luftzufuhr-Trichter
 (Mittelwerte von 25 Vergleichsversuchen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium
Versuchsdauer: Einheitlich 10 min.

Luftdurchfluß pro min.	Slit-Sampler 5 l		K r o t o v - G e r ä t			
			20 l		5 l (theoretisch)*)	
Trichter	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Keimzahl- mittelwerte m^3 Luft	172	207	136	164	(255)	(304)

*) vgl. Tabelle 1

Ähnlich wie beim Krotov-Gerät (s. Tabelle 5) machten wir auch beim Slit-Sampler die Erfahrung, daß die Keimausbeute der Geräte durch längere Laufzeiten beeinträchtigt wird. So war bei

aufeinanderfolgenden 2,5, 5 und 10 min. Laufzeiten, in dieser sowie umgekehrten Reihenfolge, eine Annäherung an das theoretische Keimausbeuteverhältnis von 1 : 2 : 4 nur in letzterem Fall mit Werten von 0,8 : 1,7 : 4 festzustellen, während bei zunehmenden Betriebszeiten eine stärker abweichende Proportion von 1 : 1,2 : 2,7 resultierte.

Trotz der nachgewiesenen Keimarmut der Abluft des Krotov-Geräts (s. Tabelle 3) bestand kein Zweifel, daß durch derartige Geräte nur ein geringer Anteil der Luftbakterien erfaßt wird. Da eine Bestimmung des Keimgehalts der Abluft für die Beurteilung des Wirkungsgrades eines Gerätes ausschlaggebend ist, führten wir solche Untersuchungen auch beim Slit-Sampler durch. Für diese Prüfungen benutzten wir das Kapillar-Impinger-Gerät (s. Abbildung 1, III) da mit diesem eine bessere Keimausbeute als mit Schlitz-Sammlern zu erzielen ist (s. später), und speziell beim Slit-Sampler der für das Impinger-Verfahren notwendige geringere Luftdurchfluß ohne weiteres eingestellt werden kann. Bei einer Luftprobenmenge von 5 l/min. und jeweils 1-std. Versuchsdauer wurde die Abluft zu gleichen Teilen (je 1,25 l/min.) auf 4 parallelgeschaltete Impinger verteilt. In der Tabelle 12 sind die Ergebnisse von 5 derartigen Versuchen wiedergegeben. Während im Durchschnitt der Slit-Sampler (mittels 4 Agarplatten à 15 min. Laufzeit) eine Ausbeute von 192 Keimen/m³ Luft erbrachte, wurde in der Abluft noch ein Gehalt an 276 Keimen/m³ nachgewiesen. Vom Slit-Sampler sind demnach nur etwa 41 % der insgesamt ermittelten Keime erfaßt worden. Weitere Abluftprüfungen wurden auch mittels drei parallelgeschalteter Schlitz-Sammler (1 Slit-Sampler und 2 Krotov-Geräte, Abluft-Durchfluß jeweils 15 l/min.) vorgenommen, wobei der vorgeschaltete Slit-Sampler auf eine Luftprobenmenge von 45 l/min. eingestellt worden war. Mit diesen Geräten wiesen wir in der Abluft nur etwa 10 % der primären Ausbeute nach. Somit ergibt sich, daß das Impinger-Verfahren dem Agarplatten-Verfahren deutlich überlegen ist. Im Gegensatz hierzu steht die Aussage von VLODAVEC, 1959 (s. Seite 4).

Tabelle 12

Bestimmung des Luftkeimgehalts in der Abluft des Slit-Samplers
mittels 4 parallelgeschalteter Kapillar-Impingern

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Luftdurchfluß beim Slit-Sampler: 5 l/min.

Versuchsdauer: 1 Std.

Vers.- Nr.	K e i m z a h l e n							
	Z u l u f t (Slit-Sampler)		A b l u f t					
	pro Std.	pro m ³	Kapillar- Impinger				Summe von I ₁ -I ₄	
			I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	pro Std.	pro m ³
1	16	53	45	9	27	18	99	327
2	48	160	18	15	21	24	78	260
3	111	370	21	12	12	12	57	190
4	43	141	39	15	15	21	90	297
5	71	234	27	12	6	18	63	308
Mittel- werte		192						276
in ‰		41						59

III. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Kapillar-Impingern

Somit erschien es ratsam, das Impinger-Verfahren eingehender auf seine Leistungsfähigkeit zu prüfen. Wir wählten hierfür originale Kapillar-Impinger nach BRONN (s. Abbildung 1, III), die nach WINDISCH (1965) eine Luftkeimausbeute von 98 % ermöglichen sollen.

Zunächst untersuchten wir, inwieweit (bei einer Auffangflüssigkeitsmenge von jeweils 150 ml) die Keimausbeute von der Menge der durchperlenden Luft abhängt. (Hierbei befand sich die Kapillaröffnung nicht, wie bei WINDISCH beschrieben, direkt oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche, sondern war in die Waschflüssigkeit eingetaucht. Nach unseren Erfahrungen wird die Keimausbeute durch diesen Unterschied nicht beeinflusst.) Bei insgesamt 6 vergleichenden Doppelversuchen prüften wir die Keimabgabe bei einem Luftdurchfluß von 25, 50 und 100 l/Std.; da uns nur 2 Geräte mit eingebautem Rotameter zur Verfügung standen, galt die mittlere Einstellung stets als Bezugsgröße (Keimausbeute jeweils als 70 % angesetzt). Die in der Tabelle 13 aufgezeigten Resultate weisen erwartungsgemäß darauf hin, daß (ähnlich wie beim Krotov-Gerät und beim Slit-Sampler) bei einem geringeren Luftdurchfluß eine größere Keimausbeute zu erzielen ist als bei Prüfung größerer Luftprobenmengen. So standen die bei 25, 50 und 100 l Luft pro Stunde erzielten Ausbeuten von 967, 680/620 bzw. 497 Keimen/m³ im prozentualen Verhältnis von 100 : 70 : 56.

In weit geringerem Maße beeinflusst hingegen die Menge der Auffangflüssigkeit den Wirkungsgrad des Kapillar-Impingers. So erzielten wir bei 5 Parallelversuchen mit Flüssigkeitsmengen von 150 bzw. 60 ml im Mittel 660 bzw. 546 Keime/m³ Luft. Wir beschickten daher das Gerät grundsätzlich mit 150 ml Auffangflüssigkeit.

Bei einem Luftdurchfluß von 50 l/h (0,84 l/min.) verglichen wir die Leistungsfähigkeit des Kapillar-Impingers mit der des Slit-Samplers und des Krotov-Geräts. Die bei insgesamt 5 gleichzeitigen Luftkeimgehaltsbestimmungen erhaltenen Einzel- und Durchschnittswerte sind in der Tabelle 14 wiedergegeben. Demzufolge war unter den gegebenen Versuchsbedingungen mit dem ersten Gerät eine etwa 4 - 5mal größere Keimausbeute zu erreichen als mit dem amerikanischen oder russischen Apparat.

Tabelle 13

Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Kapillar-Impingern (2 Geräten)
bei verschiedenem Luftdurchfluß

(Mittelwerte von 6 Vergleichsversuchen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium
Versuchsdauer: Einheitlich 1 Std.
Luftdurchfluß: 25, 50 bzw. 100 l/h.

	Kapillar-Impinger			
	I	II	II	I
Luftdurchfluß pro Std.	25 l	50 l	50 l	100 l
Keimzahlen/m ³ Luft im Mittel	967	680	620	497
in rel. %	100	70	70	56

Um den Wirkungsgrad des Kapillar-Impingers nach BRONN besser beurteilen zu können, prüften wir die Abluft eines solchen Gerätes (mit einem Luftdurchfluß von 50 l/h) mittels 5 weiteren hintereinander angeschlossenen gleichartigen Geräten. Die bei insgesamt 8 derartigen Versuchen festgestellten Keimzahlen sind in der Tabelle 15 angeführt. Es zeigte sich, daß von allen 6 Kapillar-Impingern nur ein gewisser Anteil der Luftbakterien aufgenommen wird und mit dem letzten Gerät noch immer etwa 40 % der mit dem ersten Gerät erzielten Keimausbeute erfaßt werden. Bei Berücksichtigung der aus den 5 Abluftkontrollen ersichtlichen abnehmenden Tendenz der Keimzahlen kann geschlossen werden, daß unter den gegebenen Bedingungen mit einem einzigen Kapillar-Impinger-Gerät schätzungsweise nur etwa 5 - 10 % des (aerophilen) Luftbakteriengehaltes zu erfassen sind. Dies würde bedeuten, daß die geprüfte Luft einen Gehalt von rund 4.000 Keimen/m³ besaß. Diese Ergebnisse stehen in krassem Gegensatz zu der von WINDISCH (1965a) getroffenen Beurteilung.

Tabelle 14

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels des
Kapillar-Impinger, Slit-Sampler und Krotov-Gerätes

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Versuchsdauer: Einheitlich 1 Std.

	Kap.-Impinger	Slit-Sampler (4 Läufe à 15 min.)	Krotov-Gerät (4 Läufe à 15 min.)
	L u f t d u r c h f l u ß		
	0,84 l/min. (50 l/h)	5 l/min.	20 l/min.
	K e i m z a h l e n / S t d .		
	59	55	230
	95	79	247
	60	152	239
	63	75	251
	15	34	95
Mittelwerte pro 1 Std.	58	80	232
pro m ³ Luft	1160	267	193
in rel. %	100	23	17

Tabelle 15

Bestimmung des Luftkeimgehaltes in der Abluft des
Kapillar-Impingers mittels 5 hintereinandergeschalteter
Kapillar-Impinger

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Luftdurchfluß: 50 l/h (= 0,84 l/min.)

Versuchsdauer: Jeweils 1 Stunde

Vers.- Nr.	Z u l u f t			A b l u f t					
	Kapillar-Impinger							Summe	
	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	von I ₂ -I ₆		
	K e i m z a h l e n								
	pro Std.	pro m ³ Luft	p r o S t d .					pro Std.	pro m ³ Luft
1	42	840	33	15	33	.	.	81	1620
2	45	900	21	21	15	.	.	57	1140
3	27	540	24	24	27	.	.	75	1500
4	24	480	12	15	21	9	9	66	1320
5	78	1560	129	72	78	30	30	339	6780
6	36	720	24	42	60	18	21	165	3300
7	21	420	15	15	12	12	12	66	1320
8	21	420	15	12	15	6	9	57	1140
Mittel- werte	37	740	34	27	32	15	16	124	2480
in rel. %		23							77

IV. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels eines Fritte-Impingers

Wie WINDISCH (1965b) gezeigt hat, eignet sich auch eine Gaswaschflasche zur Luftkeimgehaltsbestimmung. Bei diesem Fritte-Impinger ist an das Lufteinlaßrohr eine Glasfritte (Eintauchnutsche G 1) angeschmolzen, so daß eine große Anzahl fein verteilter Luftbläschen durch die Auffangflüssigkeit perlt. Bei unter gleichen Bedingungen mit dem Kapillar-Impinger nach BRONN durchgeführten Vergleichsuntersuchungen fanden wir (s. Tabelle 16), daß mit diesem Gerät eine um etwa 30 % höhere Keimausbeute zu erreichen ist.

Da wir zunächst nur im Besitz eines einzigen derartigen Fritte-Impingers waren, sind diesbezügliche Abluftprüfungen mit 6 hintereinander geschalteten Kapillar-Impingern vorgenommen worden. Die in der Tabelle 17 wiedergegebenen Befunde bestätigen die beim Kapillar-Impinger gemachte Erfahrung (s. Tabelle 15), daß trotz des relativ hohen Wirkungsgrades derartiger Geräte nur ein geringer Teil der Luftbakterien nachgewiesen werden kann. Im vorliegenden Fall wurden noch im 6. Abluft-Kontroll-Impingergerät über 50 % der mit dem Fritte-Impinger erzielten Keimausbeute festgestellt. Da die Abluftkontrollwerte keine starke Abnahmetendenz erkennen lassen, gestatten diese Versuche keine genauere Aussage über die Leistungsfähigkeit des Fritte-Impingers. Die Keimerfassungschance dieses Gerätes dürfte mit ziemlicher Sicherheit 10 % des tatsächlichen Gehalts der Luft nicht übersteigen.

V. + VI. Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels Membranfilter- und Sprühgeräten

Da für die Überprüfungen des Keimgehalts der Luft auch Membranfiltergeräte (KRUSE 1948, GOETZ 1953, ALBRECHT 1957, GROHAR und EISSA 1957, SUJKOWA 1959) oder Luft-Wasser-Sprühgeräte (MOULTON, PUCK und LEMON 1943, RECMJENSKIJ 1952, ALBRECHT 1955) verwendet und als geeignet geschildert werden, haben wir diese beiden Verfahren mit in unsere Untersuchungen einbezogen.

Tabelle 16

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mittels
Kapillar-Impinger und Fritte-Impinger

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Versuchsdauer: 1 Stunde

Auffangflüssigkeit: Jeweils 150 ml

Luftdurchfluß: 25 l/h

	Kapillar- Impinger	Fritte- Impinger		
Vers.-	Keimzahlen			
Nr.	pro Std.	pro m ³ Luft	pro Std.	pro m ³ Luft
1	39	1560	57	2280
2	57	2280	51	2040
3	24	960	27	1080
4	36	1440	48	1920
5	24	960	27	1080
6	36	1440	48	1920
7	48	1920	54	2160
8	30	1200	66	2640
Mittel- werte		1470		1890
in %		100		129

Bei insgesamt 16 gleichzeitigen Vergleichsversuchen mit einem Membranfiltergerät, einem Slit-Sampler und einem Krotov-Gerät stellten wir die in der Tabelle 18 angeführten Keimzahlen fest. Demnach beträgt die relative Keimausbeute des ziemlich umständlichen Membranfilterverfahrens nur 38 % von der des Slit-Samplers. (Was die mit dem Krotov-Gerät erzielte relative Keimausbeute von 67 % betrifft, so sei einmal mehr auf die relativ große Luftdurchflußmenge von 20 l/min. hingewiesen, wodurch die Keimerfassungschance stark herabgemindert wird - vgl. Tabelle 1.)

Tabelle 18

Gleichzeitiger Vergleich von Membranfilter,

Slit-Sampler und Krotov-Gerät

(Mittelwerte von 16 Versuchen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Versuchsdauer: Einheitlich 10 min.

	Membran- Filter	Slit- Sampler	Krotov- Gerät (ohne Trichter)
Luftdurchfluß	10 l/min.	5 l/min.	20 l/min.
K e i m z a h l e n			
pro 10 min. Gesamtlaufzeit	9	12	32
pro m ³ Luft	90	240	160
relative Keim- ausbeute in %	38	100	67

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades des Membranfiltergeräts sind bei einer Luftzufuhr von 5 l/min. an das Abluftrohr 4 parallel geschaltete Kapillar-Impinger mit einem Luftdurchfluß von jeweils 1,25 l/min. angeschlossen worden. Die bei insgesamt 4 derartigen jeweils 30 min. dauernden Versuchen ermittelten durchschnittlichen Keimzahlen sind in der Tabelle 19 wiedergegeben.

Tabelle 19

Luft- und Abluftkeimgehaltsbestimmungen mittels eines Membran-
filtergerätes bzw. 4 parallelgeschalteten Kapillar-Impingern

(Durchschnittswerte von 4 Versuchen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Versuchsdauer: Jeweils 30 min.

	Membran-Filter	Abluftkontrollen mittels parallelgeschalteten 4 Kapillar-Impingern
	5 l/min.	4 x 1,25 l/min.
K e i m z a h l e n		
Mittelwerte pro 30 min.	21	45
Mittelwerte pro m ³ Luft	140	300
relative Keim- ausbeute in %	32	68

Bei einer relativen Keimausbeute von 32 % waren demnach in der Abluft zumindest noch etwa doppelt so viele Keime enthalten wie mit dem vorgeschalteten Membranfilter erfaßt worden sind. In Wirklichkeit ist die mit letzterem Gerät erzielte Keimausbeute zweifellos um ein Vielfaches geringer, hatten wir doch mit hintereinandergeschalteten Impingern nachgewiesen (s. Tabellen 12 und 14), daß durch ein einzelnes Impingergerät (Luftdurchfluß von 1,25 l/min.) mehr oder weniger nur etwa 5 - 10 % der Luftkeime erfaßt werden. Somit könnte gefolgert werden, daß im vorliegenden Falle die Luft einen Gehalt an schätzungsweise 3.000 - 6.000 (aerophilen) Bakterien pro m³ besaß. Ähnlich unbefriedigend waren die Ergebnisse, die wir mit einem selbstgebauten Sprühgerät erzielten (s. Abbildung 1, VI).

Die Entwicklung dieses Gerätes ging von der Vorstellung aus, daß bei permanentem Versprühen einer bestimmten kleinen Flüssigkeitsmenge mittels der zu prüfenden Luft es zu einer vermehrten Keimausscheidung in der Auffangflüssigkeit kommt. Zu diesem Zweck wurde am Grunde eines nach oben sich verbreiternden birnenförmigen Glasballons ein Flüssigkeitszerstäuber angebracht, der die Auffangflüssigkeit feinstverteilt in den Glasballon versprüht, von wo sie entlang der Glaswandung wieder zu ihrem Ausgangsbeförderer zurückkehrt. In einem "toten Raum" am oberen Ende des Ballons wurde das Abluftrohr angebracht. Bei optimal feiner Sprühfunktion verarbeitete das Gerät ca. 450 l Luft/h. - Bei der Berechnung der Keimzahlen ist ein Flüssigkeitsverlust von etwa 1/3 pro Stunde berücksichtigt worden.

Mit diesem Gerät haben wir 5 Vergleichsuntersuchungen mit dem Kapillar-Impinger und dem Slit-Sampler vorgenommen. Die hierbei erzielten durchschnittlichen Luftkeimzahlen sind in der Tabelle 20 einander gegenübergestellt. Demzufolge besitzt dieses Sprühgerät im Vergleich zu einem (einzelnen!) Kapillar-Impinger nur einen Wirkungsgrad von etwa 34 %. - Es ist z. Zt. ein modifiziertes Gerät im Bau, bei dem sich das Abluftrohr in einem "toten Raum" am unteren Ende des Glasballons und somit entgegengesetzt der Sprührichtung befindet.

Tabelle 20

Gleichzeitiger Vergleich von Sprühgerät,
Kapillar-Impinger und Slit-Sampler

(Mittelwerte von 5 Versuchen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Versuchsdauer: Einheitlich 1 Std.

	Sprühgerät	Kap.-Impinger	Slit-Sampler
Luftdurchfluß	450 l/h	50 l/h	5 l/min. (insges. 4 Platten pro Versuch)
Keimzahlmittelwerte			
pro 1 Std. Gesamtlaufzeit	80	26	75
pro m ³ Luft	178	520	250
relative Keimausbeute in %	34	100	48

VII. Luftkeimgehaltsbestimmungen mit selbstentwickelter Vertikal-Zentrifuge

Von einigen Autoren sind Luftkeimsammler beschrieben worden, bei denen die Luftbakterien mit Hilfe der Zentrifugalkraft von schnell rotierenden Trommeln, an deren Innenseite sich eine Agar- oder Flüssigkeitsschicht befindet, aufgefangen werden (WELLS, 1933; SAFIR, 1945). Andererseits hatten ANDERSEN (1962) einen Agar-Trommelsammler angegeben, bei dem die aufgefangenen Luftbakterien bzw. die nach Kultivierung entstehenden Kolonien auf einem spiralförmigen Weg angeordnet sind (s. Seite 3). Bei der von uns entwickelten Agartrommel-Zentrifuge (s. Abbildung 1, VII) ist eine Kombination dieser beiden Funktionsprinzipien versucht worden.

Wie die Abbildung deutlich machen soll, befindet sich im Innern eines feststehenden Gehäuses ein Topf, in den eine Agartrommel eingesetzt wird; Topf und Trommel werden durch einen außerhalb des Gehäuses befindlichen Elektromotor (2.000 - 2.500 UpM) angetrieben. Durch den Topfboden ragt in den Trommelraum eine achsial angebrachte Schlitzhülse, die über ein Relativgetriebe eine Rotationsverzögerung von 1 UpM erfährt. Das von oben durch den Gehäusedeckel in den Trommelraum reichende Luftzufuhrrohr ist mit seinen beiden Düsenarmen in die Schlitzhülse vertikal beweglich eingelassen. Dieses Luftzufuhrrohr besitzt außen ein Gewinde, das in eine Gewindefassung des Deckels hineinreicht. Infolge der über die Schlitzhülsehalterung verzögerten Rotation des Luftzufuhrrohrs bewegen sich die beiden Düsen mittels dieses Gewindes allmählich nach oben. Auf diese Weise legen die (in ihrem Abstand zur Agartrommel und in ihrer Öffnungsweite verstellbaren) Düsen längs der Agartrommelwand innerhalb 15 min. einen spiralförmigen Weg zurück. Am oberen Gehäusedeckel befindet sich das Abluftrohr, auf das ein Respirometer (Wright) aufgesetzt ist. Der Luftdurchfluß erfolgt mittels eines hieran angeschlossenen Staubsaugers und kann über ein Ventil reguliert werden.

Voraussetzung für das Arbeiten mit einer solchen Agartrommel-Zentrifuge war ein Gerät, mit welchem die Trommeln unter sterilen Bedingungen mit dem Agarmedium beschickt werden können. Diese Möglichkeit war, mit der von uns gebauten Agar-Gießzentrifuge (s. Abbildung 1, VIII a) gegeben.

Der flüssige (ca. 55°C heiße) Nähragar wird in das abgewinkelt in das Trommelinnere reichende Agareinfüllrohr eingegossen. - Dieses Agartrommelgießgerät eignet sich als sog. Horizontal-Zentrifuge zugleich als Luftkeimsammelgerät (s. S. 13). Das in letzterem Fall horizontal in die Mitte der Trommel hineinführende Lufteinlaßrohr wurde beim Agargießen geschlossen.

Unsere ersten mit dieser (geschlossenen) Agartrommel-Vertikal-Zentrifuge durchgeführten Luftgehaltsbestimmungen waren enttäuschend. Als Beispiel hierfür seien in der Tabelle 21 die Ergebnisse angeführt, die wir in 2 Vergleichsversuchen mit 2 derartigen Geräten, 1 Slit-Sampler und 1 Krotov-Gerät erhalten haben. Die mit den beiden letzteren Sammlern erzielte Keimausbeute lag um das 3- bis 4-fache höher als die beim Zentrifugengerät, wobei weiter einschränkend zu bemerken ist, daß bei einem optimalen Luftdurchfluß von nur 5 l/min. (s. Tabellen 1, 10 und 11) mit dem amerikanischen und russischen Gerät sich noch weit bessere Werte ergeben hätten. Ferner ist zu berücksichtigen, daß bei der Trommelzentrifuge eine weit größere Agarfläche (535 cm^2 gegenüber 152 cm^2 bzw. 75 cm^2) zur Verfügung steht, und trotzdem die damit nachgewiesenen Keime nur 20 - 25 % der beim Slit-Sampler oder Krotov-Gerät festgestellten Werte ausmachten.

Tabelle 21

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mit Vertikal-Zentrifuge (geschlossenes System, Agartrommel, relativ getriebene Luftdüse), Slit-Sampler und Krotov-Gerät

(Mittelwerte von 2 Vergleichsprüfungen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Versuchsdauer: Jeweils 15 min.

	Vertikal-Zentrifuge I II		Slit-Sampler	Krotov-Gerät
Düsen- bzw. Schlitzöffnung	2,5 mm	5,0 mm	0,2 mm	.
Luftdurchfluß pro min.	15 l	15 l	18 l	20 l
Luftkeimzahlen (Mittelwerte)				
pro Agarfläche	38	38	149	215
pro m^3 Luft	170	170	552	718

Auch durch abgeänderte Versuchsbedingungen (Veränderung der Luftdurchflußmenge, der Düsenweite, des Düsen/Agar-Abstandes) ergaben sich keine wesentlich besseren Resultate. Noch schlechter waren die Ergebnisse, wenn unter Arretierung des Luftzufuhrdüsenrohrs nur die Agartrommel rotierte und die zwei Runddüsen durch 8 cm hohe (d. h. die gesamte Trommelhöhe bestreichende), 1 mm breite Schlitzdüsen ersetzt wurden.

Gleichermaßen unbefriedigend waren die Befunde, die wir bei Ersatz der Agartrommeln durch Flüssigkeitstrommeln (75 ml Kochsalzlösung pro Trommel) unter Verwendung der langsam mitrotierenden Schlitzdüsen erhielten. (Die entsprechenden Trommeln besitzen an ihrem unteren Rand eine Flüssigkeitsauffangrille.) Bei diesem Verfahren erreichten wir erst unter der Voraussetzung bessere Ergebnisse, daß durch die Entfernung der beiden Deckel für Topf und Zentrifugengehäuse die Raumluft freien Zutritt zum Trommelraum hatte. Die hierbei erreichte Keimausbeute lag im Durchschnitt etwa doppelt so hoch wie bei gleichzeitigen Versuchen mit dem Slit-Sampler.

Am eindruckvollsten war hingegen der Keimanfall, wenn bei der offenen Vertikalzentrifuge eine rotierende Schlitzdüse und Agartrommel benutzt wurde. Bei nur 2 min. Lauf erreichten wir hierbei 2.000 - 5.000 Bakterienkolonien pro Trommel, d. h. im Durchschnitt etwa die 50-fache Ausbeute wie auf der Agarplatte eines Slit-Samplers (s. S. 38).

VIII. Luftkeimgehaltsbestimmungen mit selbstentwickelter Horizontal-Zentrifuge

Da die Vertikal-Zentrifuge (mit über ein Relativgetriebe mitrotierender Luftzuführung) unsere Erwartungen nicht erfüllte, führten wir eingehendere Untersuchungen mit der einfach gebauten Horizontalzentrifuge durch. (Hierbei modifizierten wir teils den als Agartrommel-Gießgerät bewährten Apparat (s. Abbildung 1, VIII) oder dessen funktionellen Grundkörper (s. Abbildung 1, VIII e).

Im Gegensatz zur Vertikal-Zentrifuge, bei der innerhalb eines feststehenden Zentrifugengehäuses ein Topf mit der eingeschobenen Trommel rotiert, ist die Horizontal-Zentrifuge nur mit einem rotierenden Gehäusetopf als Trommelbehälter ausgestattet, der durch einen Schraubdeckel geschlossen wird. Da der Elektro-

motor nur eine Variierung niederer Drehzahlen zuließ, wurden sämtliche Versuche bei 1.600 - 2.400 Trommel-Umdrehungen/min. vorgenommen.

Unsere ersten entsprechenden Versuche führten wir mit dem Agartrommel-Gießgerät (s. Abbildung 1, VIII a) durch.

Zu diesem Zweck wurde das Agareinfüllrohr geschlossen. Der Lufteintritt erfolgt durch ein achsial in den Trommelraum bis in die Nähe der Luftblätter hineinreichendes Rohr. Die Abluft entweicht durch 8 schmale Schlitzöffnungen, die sich entlang dem äußeren Rand des Schraubdeckels (ähnlich wie es die Abbildung 1, VIII b veranschaulicht) befanden.

Im Vergleich mit dem Krotov-Gerät wurde zunächst untersucht, inwieweit sich die Versuchsdauer (2, 4, 8 und 16 min.) auf die Keimausbeute auswirkt. Die bei jeweils 5 Parallelversuchen erhaltenen Mittelwerte sind in der Tabelle 22 enthalten und zeigen, daß mittels der Horizontal-Zentrifuge (modifiz. Agartrommel-Gußgerät) eine um etwa 3 - 5mal größere Keimausbeute zu erzielen war als mit dem Krotov-Gerät, wobei in beiden Fällen keine proportionale Relation zwischen Versuchsdauer und Keimausbeute bestand. (Die niedrigen Keimzahlen dürften damit zu erklären sein, daß diese Versuche in den luftkeimarmen Abendstunden vorgenommen wurden.)

Eine noch bessere Keimausbeute erbrachte dieses Agartrommel-Gießgerät, als wir den Schlitzdeckel durch verschieden große, feststehende, vor dem Trommelgehäuse montierte Metallscheiben ersetzten, deren Durchmesser um 7 - 14 mm kleiner als der Trommeldurchmesser war (s. Abbildung 1, VIII b). Bei einer Luftzufuhrmenge von 15 l/min., einer Laufzeit von 2 min. und einer optimalen Trommel/Scheibenwand-Schlitzweite von 5 mm erhielten wir Keimzahlen von 1.700 - 2.600/m³ Luft. Da bei dieser Modifikation aber die Luft nicht nur durch das Luftzufuhrrohr, sondern offensichtlich auch durch den ringförmigen (dem Abfluß der Abluft dienenden) Trommel/Scheibenschlitz einströmte, war eine exakte Messung der Luftprobenmengen illusorisch. Wir haben daher keine weiteren Untersuchungen mit diesem Gerät durchgeführt.

Um eine genauere Messung der Luftprobenmengen zu gewährleisten, umgaben wir das rotierende Trommelgehäuse mit einem feststehenden Zylinder (mit Abluftrohr), der mit einem Abdecktopf (mit Luftzufuhrrohr) derart verbunden wurde, daß zwischen Topf und Trommel ein 1 cm breiter Spalt bestand, durch den die Luft abfließen konnte (s. Abbildung 1, VIII c). Bei Vergleichs-

versuchen mit dem Krotov-Gerät (einheitliche Versuchsdauer 10 min. bei einheitlichem Luftdurchfluß von 20 l/min.) stellte sich jedoch heraus, daß diese modifizierte Horizontal-Zentrifuge nur etwa 80 % der mit dem Krotov-Gerät erzielten Keimausbeute einbrachte.

Tabelle 22

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mit Agartrommel-Gießgerät (Schlitz-Schraubdeckel) und Krotov-Gerät bei verschiedener Versuchsdauer

(Mittelwerte von jeweils 5 Vergleichsprüfungen)

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Luftdurchfluß: Einheitlich 12,5 l/min.

	Agartrommel-Gießgerät		Krotov-Gerät	
Laufzeit	K e i m z a h l e n			
	pro Trommel	pro m ³ Luft	pro Platte	pro m ³ Luft
2 min.	7	280	2	80
4 "	11	220	2	40
8 "	14	140	5	50
16 "	31	155	7	35

Besser als dieser Abdecktopf bewährte sich hingegen der in der Abbildung 1, VIII d gezeigte Luftereinlaßtrichter. So ergab sich bei entsprechenden Vergleichsversuchen dieses Gerätes mit dem Slit-Sampler (bei jeweils 2 min. Versuchsdauer und einem Luftdurchfluß von 5 l/min.), daß mit ersterem mit durchschnittlich 2.000 Keimen/m³ Luft eine doppelt so große Keimausbeute zu erreichen war wie mit letzterem. (Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß durch eine Veränderung der Luftblätter und der am Trichter angebrachten Abluft-Abschirmung die Leistung dieser Horizontal-Zentrifuge erhöht werden kann.)

Da wir mittels der offenen Vertikal-Zentrifuge (mit rotierender Schlitzdüse) eine überdurchschnittlich hohe Keimausbeute festgestellt hatten (s. S. 43), wiederholten wir diese Versuche und führten gleichzeitig Paralleluntersuchungen mit einer offenen Horizontal-Zentrifuge (s. Abbildung 1, VIII e) durch. Hierbei wurde gleichzeitig geprüft, inwieweit eine Relation zwischen Versuchsdauer (1, 2, 4, 8 und 16 min.) und Keimausbeute besteht. Während dieser 31 min. Gesamtdauer dieser Vergleichsversuche lief als Kontrolle ein Slit-Sampler (Luftdurchfluß von 5 l/min.) mit, wobei bei wiederholtem Aufzug des 15. min. Uhrwerks dieselbe Agarplatte zum Auffangen der Keime diente. Wie aus den in der Tabelle 23 wiedergegebenen Resultaten zu entnehmen ist, waren bereits bei 1 min. Laufzeit auf den beiden Trommeln der Vertikal- und Horizontal-Zentrifuge rund 1.100 bzw. 480 Bakterienkolonien nachweisbar. Bis zu einer Laufzeit von 8 min. (mit Keimzahlen von etwa 7.000 bzw. 4.200 pro Trommel) steigerten sich in beiden Fällen die Keimausbeuten proportional zur Auffangzeit.

Tabelle 23

Vergleichende Luftkeimgehaltsbestimmungen mit offener Vertikal-Zentrifuge (mit rotierender Schlitzdüse), offener Horizontal-Zentrifuge und Slit-Sampler bei verschiedener Versuchsdauer

Versuchsraum: Großes Laboratorium

Umdrehungszahl bei Vert.-Zentr.: 2.400 U/min.

" " Hor.-Zentr.: 1.600 U/min.

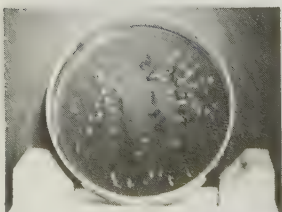
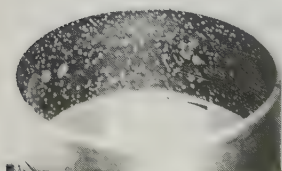
Luftdurchfluß: beim Slit-Sampler: 5 l/min.

Versuchs- dauer	Vertikal- Zentrifuge	Horizontal- Zentrifuge	Slit-Sampler
	Keimzahlen/Agaroberfläche		
1 min.	1100	480	.
2 "	2100	1050	.
4 "	3600	1700	.
8 "	7000	4200	.
16 "	8000	4200	.
31 min.	.	.	110

Dieses Ergebnis ist nicht zuletzt insofern beachtenswert, da bei keinem der sonstigen von uns geprüften Luftkeimsammlern eine derartig gute proportionale Beziehung zwischen Laufzeit und Keimausbeute zu erreichen war. Im Vergleich hierzu sind mit dem Slit-Sampler in 31 min. nur 110 Keime erfaßt worden, was einem relativen Gehalt der Luft an 710 Keimen/m³ entspricht. Somit sind mit der Vertikel-Zentrifuge während 1 bzw. 8 Minuten etwa 10 bzw. 60mal so viel Keime abgefangen worden wie mit dem Slit-Sampler im Verlauf von 31 Minuten. Die Abbildungen 3a, b u. c sind fotografische Aufnahmen der entsprechenden Agartrommeln bzw.

Abbildung 3

der Agarplatte des Slit-Samplers. Trotz dieser Überlegenheit haben diese offenen Luftzentrifugen allerdings den Nachteil, daß mit ihnen keine Messungen der Luftprobenmengen möglich sind. Unsere bisherigen Versuche, mittels Schlitzdeckel, Abdeckscheiben, Abdecktopf oder Lufteinlaßtrichter derartige Messungen zu erreichen, führten mehr oder weniger zu einer stark verringerten Keimerfassung. Es sind daher Versuche im Gange, diese Schwierigkeiten zu beheben.



D. Besprechung

Je leistungsfähiger ein Luftkeimsammler ist, desto mehr Keime werden im allgemeinen durch die Verfahrensweise abgetötet und je schonender der Keimauffang erfolgt, desto mehr Keime entgehen der Erfassung. Eine exakte Aussage über den absoluten Keimgehalt einer größeren Luftmenge ist daher mit keinem Gerät möglich, denn in beiden Fällen wird ein unkontrollierbarer Keimanteil nicht erfaßt. Im günstigsten Fall handelt es sich bei solchen Angaben lediglich um große Annäherungswerte an eine 100%ige Keimausbeute. Für derartige Angaben sind Vergleichsprüfungen mit bewährten Keimsammlern und entsprechenden Keimgehaltsbestimmungen in der Abluft unerlässlich, wobei aber die resultierenden Befunde letztlich nur für die vorgelegenen Versuchsbedingungen zutreffen.

An einen leistungsfähigen Keimsammler sind vor allem folgende Forderungen zu stellen: Er muß eine große Keimerfassungskapazität besitzen, die sich bei keimreicher und keimarmer Luft sowie bei verschiedener Luftfeuchte und -temperatur in gleichem Maße auswirkt. Bei möglichst hohem Wirkungsgrad müssen die verschiedensten Bakterienarten, aerobe und anaerobe, vegetative Keime und Sporen, sowie Pilze gleichermaßen erfaßbar sein. Außerdem muß bei einem Luftkeimsammelgerät neben einer einfachen qualitativen Auswertung der gesammelten Keime (am besten bei Sammlern mit festem Nährmedium) die Möglichkeit zur exakten Messung des geprüften Luftvolumens gegeben sein. Speziell bei keimarmer Luft muß das Gerät in relativ kurzer Zeit größere Luftprobenmengen verarbeiten können, da nur hierdurch für die Errechnung des Keimgehaltes/m³ große Umrechnungsfaktoren und damit ein großer Unsicherheitsfaktor vermieden werden können. Zudem steigt mit der Größe der Keimausbeute die Chance zur Erfassung qualitativ verschiedener Keime. Andererseits ist bei kleinen Keimzahlen nicht mit Sicherheit auszuschließen, ob diese nicht aus der Luftzuführung stammen. Auch darf bei Geräten, die mit elektrischen Motoren betrieben werden, eine längere Versuchsdauer nicht zur Erhitzung des Sammlers führen und eine elektrische Aufladung desselben muß vermieden werden. Schließlich sollte ein Luftkeimsammelgerät handlich, leicht transportabel und nicht zerbrechlich sein.

Im Schrifttum wurden zahlreiche Luftkeimsammelgeräte beschrieben, die nach den verschiedensten Funktionsprinzipien arbeiten und auf vielfältige Weise modifiziert wurden. Die Leistungsfähigkeit der einzelnen Geräte wird nicht selten unterschiedlich beurteilt (s. Seite 4); eine Urteilsbildung ist daher auf Grund alleinigen Literaturstudiums oft unmöglich. Nicht selten stützen sich die Vergleichswerte auf Versuche mit Aerosolen von Bakterien oder Bakteriensporen, was durchaus keinen gültigen Rückschluß auf entsprechende Resultate unter normalen Gegebenheiten zuläßt. Auch wirken sich bei einem Aerosol Temperatur und Luftfeuchtigkeit unterschiedlich auf die Lebensfähigkeit von Bakterien aus (VLODAVEC, 1962). Ferner ist zu berücksichtigen, daß beim Versprühen einer Bakteriensuspension bekannter Keimkonzentration ein unkontrollierbarer Bakterienanteil sich an den Wandungen, am Boden und an der Decke eines kleineren geschlossenen Raumes niederschlägt bzw. im Verlauf der Untersuchungen sedimentiert. Wir selbst machten zudem bei Versuchen in einem kleinen (250 l) geschlossenen Brutschrank (mit Normalluft) die Erfahrung, daß bei gleichzeitigem Lauf von zwei oder mehreren Geräten Luftströmungen und -wirbel entstehen, welche den normalen Wirkungsgrad der einzelnen Geräte unterschiedlich stark beeinflussen. Desweiteren ist bei Vergleichsprüfungen in großen Räumen zu beachten, daß Zu- und Abluft der einzelnen Geräte sich gegenseitig nicht beeinflussen, ein ausreichender Abstand von Gerät zu Gerät sowie von Gerät zur Wand eingehalten wird. Hinzu kommt, daß zur Kultivierung von aufgefangenen Keimen oft nur ein bestimmtes Nährmedium verwendet wird, wodurch für verschiedene Keimarten eine unterschiedliche Kultivierungschance besteht. Insgesamt läßt sich also sagen, daß auch bei zahlreichen Vergleichsuntersuchungen durchschnittliche Keimgehaltswerte resultieren können, die gesicherte Ergebnisse lediglich vortäuschen. Eine gültige Beurteilung der Ergebnisse verschiedener Autoren bzw. eine Bewertung der von ihnen benutzten Geräte ist daher nicht möglich.

Da sich unsere Untersuchungen auf rein quantitative Bestimmungen und Vergleichsprüfungen von aeroben, bei 37°C sich innerhalb von zwei bis drei Tagen auf (Blut-) Nutrientagar vermehrenden Bakterien beschränkten, blieben ferner langsamer wachsende Bakterien oder Pilze, sowie nur unter streng anaeroben Bedingungen sich vermehrende oder Spezialnährböden erfordernde

Keime unberücksichtigt. Um möglichst zuverlässige bzw. durchschnittliche Werte zu erhalten, sind die Vergleichsuntersuchungen stets gleichwertig unter gleichen Bedingungen vorgenommen worden und es wurde stets eine größere Anzahl von Einzelbestimmungen durchgeführt. Somit glauben wir, daß die von uns erzielten Resultate gut fundiert sind.

Unsere mit insgesamt acht verschiedenen Geräten und mehreren Modifikationen durchgeführten Versuche ergaben z. T. erhebliche Abweichungen von den Ergebnissen anderer Autoren. So erwies sich z. B., daß der für den Slit-Sampler (Fort Detrick) und das Krotov-Gerät vom Hersteller empfohlene optimale Luftdurchfluß von ca. 28 l/min. (= 1 cfm) bzw. 20 - 40 l/min. offenbar nicht zutrifft, da wir jeweils mit Luftprobenmengen von 5l/min. etwa eine doppelt so hohe Keimausbeute/m³ Luft erzielen konnten. Da diese Geräte von amerikanischer und russischer Seite meistens mit künstlichen Aerosolen geprüft wurden, sind diese Differenzen möglicherweise mit der von BOURDILLON, LIDWELL und THOMAS (1941) gemachten Erfahrungen zu erklären, daß je nach der Größenordnung einer Bakterienspezies die Luftgeschwindigkeit verschieden groß gewählt werden muß. Nicht bestätigen konnten wir ferner die von WINDISCH (1965a) für den Kapillar-Impinger nach BRONN angegebene absolute Keimerfassungschance von 98 %. Während gegen eine solche Annahme bereits die ermittelten geringen Keimzahlen sprachen, ergab sich auf Grund entsprechender Abluftprüfungen letztlich nur eine Keimerfassungsquote von schätzungsweise 5 - 10 %. Diesen Wert von etwa 10 % verwendeten wir als Bezugsgröße, was in Verbindung mit den bei Vergleichsversuchen erhaltenen Durchschnittswerten eine ungefähre Abschätzung der Leistungsfähigkeit einzelner Geräte bzw. der mit ihnen unter normalen Luftbedingungen mehr oder weniger erzielbaren absoluten Keimausbeuten erlaubte. In der Tabelle 24 sind (unter Verweisung auf die entsprechenden experimentellen Daten im Text) insgesamt 10 Geräte (einschließlich Modifikationen) in der Reihenfolge ihrer prozentualen Keimerfassungschancen angeführt. Demnach erwies sich das Gelatine/Membranfilter-Gerät mit einer Keimausbeute von nur 1 % am schlechtesten, was insofern nicht unzutreffend erscheint, als die Herstellerfirma (Fa. Sartorius, Göttingen) selbst auf eine mangelhafte Erfassung vegetativer Keime mit ihrem Gerät hinweist. (Membranfilter-Information 139). Mit 2,5 % Ausbeute scheint das von uns in einem ersten Versuchsmodell entwickelte Sprüngerät dem amerikanischen und russischen Schlitzsammler etwa ebenbürtig zu sein,

Tabelle 24

Vergleich der Leistungsfähigkeit (Luftkeimerfassungschance) von 10 geprüften Luftkeimsammlern

	s. Abb. 1	absolute Keimausbeute in % (ungefähr)	vgl. Tabelle (Seite)
1. Vertikal-Zentrifuge (offen)	VII	?	23
2. Horizontal-Zentrifuge (offen)	VIIIe	?	23
3. Fritte-Impinger	IV	13	16
4. Horizontal-Zentrifuge (Agartrommel-Gießgerät)	VIIIa	10	22
5. Kapillar-Impinger	III	10	15 14 16 20
6. Horizontal-Zentrifuge mit Trichter	VIII d	5	(s.) 46
7. Krotov ohne Trichter	I	2,5	11 14 18 22
8. Slit-Sampler mit Trichter	II	2,5	11 14 18 20 23 (s.) 46
9. Sprüh-Gerät	VI	2,5	20
10. Gelatine/Membran-Filter	V	1	18

wobei letztere allerdings den Vorzug besitzen, bedeutend schneller und auf einfachere Weise Resultate zu liefern. Das gleiche gilt für die von uns entwickelte Horizontal-Zentrifuge (Agar-Trommel-Gießgerät) gegenüber dem Fritte-Impinger mit einer absoluten Keimausbeute von ungefähr 10 bzw. 13 %. Die größte und schnellste Keimerfassung ermöglichen allerdings unsere Vertikal- und Horizontal-Zentrifugen, wenn sie auch keine Messung der Luftdurchflußmenge gestatten. Die Leistungsfähigkeit dieser Geräte scheint zwar diesen Nachteil auszugleichen, da mit der hohen quantitativen Ausbeute eine weit größere Chance zur Erfassung qualitativ verschiedener Keime verbunden sein dürfte. Für den hohen Wirkungsgrad dieser Geräte spricht nicht zuletzt die Erfahrung, daß bei ihnen eine proportionale Beziehung zwischen Laufzeit und Keimausbeute besteht.

E. Zusammenfassung

=====

Im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit für Luftkeimgehaltsbestimmungen wurden im Laboratorium unter dort herrschenden Luftbedingungen insgesamt 8 verschiedene, teils bekannte, teils selbst entwickelte Luftkeimsammler nebst mehreren Modifikationen geprüft. Die Untersuchungen beschränkten sich auf eine Bestimmung der aerob bei 37°C auf bestimmten Nährböden sich vermehrende Luftkeime. Durch eingehende Prüfung der optimalen Versuchsbedingungen, zahlreiche Vergleichsuntersuchungen und Abluft-Keimgehaltsbestimmungen ergab sich die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit der Geräte miteinander zu vergleichen und ihre Vor- und Nachteile abzuwägen. Hierbei gelangten wir zu Beurteilungen, die z. T. erheblich mit denen anderer Autoren differieren. Mit einer ungefähren Keimerfassungsquote von 1 % erwies sich das Gelatine/Membranfilter-Gerät der Fa. Sartorius, Göttingen, am wenigsten geeignet. Besser und unter sich etwa gleichwertig waren mit 2,5 % ein selbstgebautes Sprühgerät, der amerikanische Slit-Sampler (Fort Detrick) und das russische Krotov-Gerät. Selbstentwickelte Agartrommel-Luftzentrifugen (mit regulierbarem Luftdurchfluß) besaßen einen Wirkungsgrad von 5 - 10 % und entsprachen in ihrer Keimerfassungskapazität etwa dem Kapillar-Impinger nach BRONN. Eine einfache Gaswaschflasche der Fa. Schott & Gen., Mainz, war dem

letzteren zumindest gleichwertig. Eine etwa 50 - 100mal größere Leistungsfähigkeit als die beiden amerikanischen und russischen Schlitzsammler und eine allen übrigen Geräten überlegene Keimauffanggeschwindigkeit besaßen zwei selbstkonstruierte (offene) Luftzentrifugen, die allerdings keine Regulierung und Messung der Luftprobenmengen gestatten.

F. Literatur

=====

- ALBRECHT, J.: Zur quantitativen Bestimmung von Luftkeimen. Arch. Hyg. 139 (1955), 109.
- ALBRECHT, J.: Die Verwendung von Membranfilter zum Nachweis von Luftkeimen. Arch. Hyg. 141 (1957), 210.
- ANDERSEN, A.A.: New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. J. Bact. 76 (1958), 471.
- ANDERSEN, A.A. und ANDERSEN, M.R.: A monitor for airborne bacteria. Appl. Microbiol. 10 (1962), 181.
- BERRY, C.M.: An electrostatic Method for collecting bacteria from the air. Publ. Health Rep. 56 (1941), 2044.
- BOURDILLON, R.B., LIDWELL, O.M. und THOMAS, J.C.: A slit sampler for the collecting and counting airborne bacteria. J. Hyg. (Cambr.) 41 (1941), 197.
- COHN, F.: Rede in der dritten allgemeinen Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Breslau. Beiträge zur Biologie der Pflanzen 1 (1874), 147.
- DALLA VALLE, J.M. und HOLLAENDER, A.: The effectiveness of certain types of commercial air filters against bacteria. Publ. Health Rep. 54 (1939), 695.
- DECKER, H.M. und WILSON, M.E.: A slit sampler for collecting airborne microorganisms. Appl. Microbiol. 2 (1954), 267.
- DECKER, H.M., KUEHNE, R.W., BUCHANAN und PROCTER: Design and evaluation of a slit-incubator sampler. Appl. Microbiol. 6 (1958), 399.
- DU BUY, H.B. und CRISP, L.R.: A sieve device for the sampling airborne microorganisms. Publ. Health Rep. 59 (1944), 829.
- DJAKONOW: zit. bei VLODAVEC, V.V., GAIDAMOWITSCH, S.J. und OBUCHOWA, W.R. (1959).

- EHRENBERG: Mitteilung über die Bacillarien-Bänke im Hochlande Californiens. Monatsberichte d. kgl. Preuss. Akad. d. Wissenschaften (1871), S. 126.
- FICKER, M.: Zur Methodik der bakteriologischen Luftuntersuchung. Zschr. Hyg. 22 (1896), 32.
- FRANKENLAND, P.F.: New method for the quantitative estimation of the microorganisms present in the atmosphere. Philos. Trans. Roy. Soc. (London) 178 (1887), 113.
- GOETZ, A.: Application of molecular filter membranes to the analysis of aerosols. Am. J. Public Health 43 (1953), 150.
- GREENBERG, L. und SMITH, G.W.: A new instrument for sampling aerial dust. Bureau of Mines, Reports of Investigations, 2392 (1922), 3.
- GROHAR, M.A. und EISSA, A.A.: The use of membrane filters in the bacteriological examination of air and water. Zschr. Hyg. 143 (1957), 364.
- GUYTON, H.G., BUCHANAN, L.M. und LENSE, F.T.: Evaluation of respiratory protection of contagion mask. Appl. Microbiol. 4 (1956), 141.
- HOLLAENDER, A. und DALLA VALLE, J.M.: A simple device for sampling airborne bacteria. Publ. Health Rep. 54 (1939), 574.
- KROTOV, J.A.: Nekotorye voprosy gigieny lecebnych ucrezdenij (1957), S. 50.
- KRUSE, H.: Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Keimgehaltes der Luft. Gesd.-Ing. 69 (1948), 199.
- LIDWELL, O.M.: Slit-sampler for long-period sampling of air for bacteria. Lancet 1 (1950), 130.
- LUKIESH, M., TAYLOR, A.H. und HOLLADAY, L.L.: Sampling devices for airborne bacteria. J. Bact. 52 (1946), 55.
- McCONNELL, W.J. und THOMAS, B.G.W.: Relative values of methods of enumerating bacteria in air. Publ. Health Rep. 40 (1925), 2167.

- MI 139: Membranfilter-Information der Fa. Sartorius Membranfiltergesellschaft GmbH., Göttingen, Nr. 139, S.6.
- MITCHELL, R.B., TIMMON, D.E. und DORRIS, H.W.J.: Studies on microorganisms of the upper atmosphere. J. Aviation Med. 22 (1951), 214.
- MIQUEL, P.: Des Poussières Organisées Tenues en Suspension dans l'Atmosphère. Compt. rend. Acad. sc. 86 (1878), 1552.
- MORIK, J.: Die Auswertung neuer mikrobiologischer Methoden zur Untersuchung der Luft (ungar.). Az Országos Közegszésgygyi Intézet Működése, Budapest, (1961), 233.
- MOULTON, S., PUCK, T.T. und LEMON, H.M.: An apparatus for determination of the bacterial content of air. Science 97 (1943), 51.
- MÜLLER, W. und BUSCH, J.: Bestimmung des Bakteriengehaltes der Luft mit einem transportablen elektromechanischen Gerät. Deutsch. Gesundh. (Ost Berlin) 19 (1964), 1456.
- NASLEYSEVA, S.I. und MIROSNIKOVA, A.P.: Trudy Ukrainskogo Mecnicoskogo instituta, Charkow, 6 (1940), 243.
- NOLLER, E. und SPENDLOVE, J.C.: An appraisal of the soluble gelatin foam filter as a sampler for bacterial aerosols. Appl. Microbiol. 4 (1956), 300.
- OESTERLE, P.: Abfilterung von Keimen mittels suspendierbarer Salzfilter. Arch. Hyg. 113 (1934), 137.
- PADY, S.M. und KELLY, C.D.: Studies of microorganisms in arctic air during 1949 and 1950. Can. J. Botany 31 (1953), 107.
- PASTEUR, L.: Expériences Relatives aux Générations Dites Spontanées, Compt. rend. Acad. sc. 50 (1860), 303.
- PETRI, R.J.: Eine neue Methode Bakterien und Pilzsporen in der Luft nachzuweisen und zu zählen. Zschr. Hyg. 2 (1888), 1.
- POLUNIN, N. und KELLY, C.D.: Fungi and bacteria, etc. caught in the air during flight over the geographic North Pole. Nature. 170 (1952), 314.

- RECMJENSKIJ, S.S.: Das Abfangen von Luftbakterien mit einem Zerstäuber-Gerät (russ.). Zurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunologii (1952), Nr. 12, S. 60.
- RETTGER, L.F.: An new and improved method of enumerating air bacteria. J. Med. Research 22 (1910), 461.
- REZNIK, J.B.: 1937, zit. bei VLODAVEC (1959).
- RICHARDS, M.: A water-soluble filter for trapping airborne microorganisms. Nature 176 (1955), 559.
- ROBERTSON, W. und DOYLE, F.: 1940, zit. bei BOURDILLON, LIDWELL und THOMAS (1941).
- ROSEBURY, T.: Experimental airborne infection. Microbiological Monographs. The Williams a. Wilkins Co., Baltimore, Maryland (1947), 19.
- SAFIR, A.I.: 1945, zit. bei VLODAVEC (1959).
- SPALLANZANI: 1765, zit. bei PETRI, R.J. (1888).
- SUJKOWA, E.J.: Filtrieren als Methode zur Reinigung der Luft von Mikroben (russ.). Labor. delo 2 (1959), 35.
- VANINI, G.C.: 1958, zit. bei VLODAVEC (1959).
- VERSIGORA, A.S.: Neues Gerät zur Feststellung von Mikroben in der Luft (russ.). Mikrobiologiceskii zurnal AN USSR 18 (1956), Nr. 4, S. 60.
- VLODAVEC, V.V.: Vergleichende Darstellung der Methoden zur bakteriologischen Erforschung der Luft in geschlossenen Räumen (russ.). Gigiena i sanitarija (1957), Nr. 1, S. 51.
- VLODAVEC, V.V.: Moderne Methoden der bakteriologischen Luftforschung (russ.). Zh. Mikrobiol. 30 (1959), 48.
- VLODAVEC, V.V., GAIDAMOWITSCH, S.J. und OBUCHOWA, W.R.: Der beim Sammeln von Grippeviren mit dem Djakonow-Apparat und mit löslichen Filtern aus Gelatineschaum erzielte Effekt (russ.). Vop. Virosol. 4 (1959), 396.
- VLODAVEC, V.V.: Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Lebensfähigkeit von Mikroorganismen im Aerosol (russ.). Mikrobiologija 31 (1962).

- WELLS, W.F.: Apparatus for study of the bacterial behavior of air. Am. J. Publ. Health 23 (1933), 58.
- WINDISCH, S.: Möglichkeiten und Grenzen der quantitativen mikrobiologischen Luftanalyse mit dem Impinger nach BRONN, Zbl.Bakt. I., Orig., 198 (1965a), 89.
- WINDISCH, S.: Methoden, Leistungsfähigkeit und Beurteilung von mikrobiologischen Luftanalysen. Monatsberichte für Brauerei (1965b), 96.
- WOLF, H.W., SKALIY, P., HALL, L.B., HARRIS, M.M., DECKER, H.M., BUCHANAN, L.M. und DAHLGREN, Ch.M.: Publ. Health Monograph 60 (1959). Sampling microbiological aerosols.

Herrn Oberarzt Dr. med. W. SCHIFF danke ich für die Überlassung des Themas und die uneingeschränkte Bereitschaft, meine Arbeit durch Ratschläge und Diskussionen anzuleiten.

Herrn Professor Dr. med. R. SIEGERT danke ich für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes.

Herrn Ing. A. REUTER danke ich für die Beratung in technischen Problemen und Fräulein E. HENNINGS für die Durchführung von Versuchen.

Die Untersuchungen sind von der Fraunhofer Gesellschaft, München, unterstützt worden.

Lebenslauf

=====

Am 12. November 1941 wurde ich als drittes Kind des Regierungsrates Dr. jur. Kurt vom Ende und seiner Ehefrau Anneliese, geb. Kühlen, in Lübeck geboren. Dort ließ sich mein Vater 1948 als Steuerberater nieder; im selben Jahr wurde ich eingeschult und bestand nach vierjähriger Grundschulausbildung die Aufnahmeprüfung für das Katharineum zu Lübeck. Auf dieser Schule besuchte ich bis zur Untersekunda den Oberschulzweig und legte schließlich 1961 mein Abitur auf dem neusprachlichen Zweig ab.

Gleich danach begann ich mit dem Medizinstudium in Marburg und bestand im Frühjahr 1962 die naturwissenschaftliche Vorprüfung. Nach dem vierten Semester wechselte ich zur Universität Bonn und absolvierte am Ende des WS 1963/64 die ärztliche Vorprüfung. Anschließend studierte ich wieder in Marburg, wo ich die ärztliche Prüfung ablegte (25. Juli 1967).

Meine akademischen Lehrer waren die Herren und Damen Professoren und Dozenten:

in Marburg:

Beckmann, Berendes, Bickel, Bommer, Braun-Falco, Buchholz, Bücher, Dimroth, Dittrich, Dölle, Drawert, Exner, Ganz, Gedigk, Hamm, Hensel, Heuser, Hildebrandt, Hohorst, Jacob, Kessel, Knauff, Korb, Lang, Lehmann-Grube, Linneweh, Löhr, Mahr, Mann, Martini, Marx, Mattes, du Mesnil de Rochemont, Neubauer, Niessing, Petry, Poetschke, Pots, Rodek, Rodenhäuser, Rohen, Salfeld, Sauer, Schiff, Schleyer, Schmid, Schmidt, Schmitz, Schwaiger, Siegert, Straub, Sträicher, Teller, Vogt, Walcher, Wendt, Würterle.

in Bonn:

Breuer, Dirscherl, Egli, Goslar, Hagen, Mosebach, Pichotka, Rodewald, Tonutti.

